KAISERLICHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN IN WIEN

MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE KLASSE

DENKSCHRIFTEN

95. BAND

(MIT 16 TAFELN, 45 TEXTFIGUREN, 1 KARTE UND 1 KARTENSKIZZE)



WIEN 1918

IN KOMMISSION BEI ALFRED HÖLDER

K. U. K. HOF- UND UNIVERSITÄTSBUCHHÄNDLER

BUCHHÄNDLER DER KAISERLICHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

4

KAISERLICHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN IN WIEN
MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE KLASSE

DENKSCHRIFTEN

95. BAND

(MIT 16 TAFELN, 45 TEXTFIGUREN, 1 KARTE UND 1 KARTENSKIZZE)



WIEN
AUS DER KAISERLICH-KÖNIGLICHEN HOF- UND STAATSDRUCKEREI
1918

Inhalt.

Seite

Hann J., v.: Untersuchungen über die tägliche Oszillation des Barometers. III. Die dritteltägige (achtstündige) Luftdruckschwankung (mit 1 Textfigur) 1

Jakobson-Stiassny E.: Zur Embryologie der Aristolochiaceae (mit 2 Tafeln und 3 Textfiguren) . . 65

Werner F.: Wissenschaftliche Ergebnisse der mit Unterstützung der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien aus der Erbschaft Treitl von F. Werner unternommenen zoologischen Expedition nach dem anglo-ägyptischen Sudan (Kordofan) 1914. III. *Mantodea* (Insecta orthoptera oothecaria) (mit 6 Textfiguren) 79

Höfler K.: Eine plasmolytisch-volumetrische Methode zur Bestimmung des osmotischen Wertes von Pflanzenzellen (mit 2 Tafeln und 5 Textfiguren) 99

Trauth F.: Das Eozänvorkommen bei Radstadt im Pongau und seine Beziehungen zu den gleichalterigen Ablagerungen bei Kirchberg am Wechsel und Wimpassing am Leithagebirge (mit 5 Tafeln und 5 Textfiguren) 171

Pichler F.: Das Aëroplankton von Wien (mit 1 Tafel) 279

Kerner v. Marilaun F.: Geologische Beschreibung des Valbonatales in Nordostalbanien. Ergebnisse der im Auftrage der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften im Sommer 1916 unternommenen geologischen Forschungsreise nach Albanien (mit 2 Profiltafeln und 1 Karte) . . 315

Streicher M.: Zur Entwicklungsgeschichte des Fruchtknotens der Birke (mit 3 Tafeln) 355

Becke F.: Petrographische Beobachtungen an den von F. v. Kerner gesammelten Gesteinen aus Nordostalbanien. Ergebnisse der im Auftrage der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften im Sommer 1916 unternommenen geologischen Forschungsreise nach Albanien 369

Szarvassi A.: Über die Grundlagen der statistischen Mechanik (mit 5 Textfiguren) 391

Jaumann G.: Physik der kontinuierlichen Medien 461

Fortsetzung der Berichte der Kommission für ozeanographische Forschungen im **Roten Meere** (nördliche und südliche Hälfte) 1895/96—1897/98.

Seite

Michaelsen W.: Zoologische Ergebnisse XXXII. *Ascidia Ptychobranchia* und *Dictyobranchia* des Roten Meeres (mit 1 Tafel, 20 Textfiguren und 1 Kartenskizze) 1

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE TÄGLICHE OSZILLATION DES BAROMETERS

III. DIE DRITTELTÄGIGE (ACHTSTÜNDIGE) LUFTDRUCKSCHWANKUNG

VON

JULIUS v. HANN
W. M. K. A.

MIT 1 TEXTFIGUR

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 22. FEBRUAR 1917

Die nächste Veranlassung zu einer Fortführung meiner zwei größeren Arbeiten über die tägliche Luftdruckschwankung gab mir ein Einwurf, den P. J. Fenyi gegen eines der Resultate meiner ersten Abhandlung kürzlich gemacht hat. Ich habe dort nachzuweisen gesucht, daß eine Eigentümlichkeit in der jährlichen Periode der Amplituden der halbtägigen Luftdruckschwankung darin besteht, daß ein sekundäres Maximum derselben im Jänner auf beiden Hemisphären eintritt. Die beiden Hauptmaxima fallen bekanntlich auf die Äquinoktien. Ich meinte die Ursache in dem Perihelstande der Sonne um diese Zeit annehmen zu dürfen. Es ist auch die später erschienene große wertvolle Arbeit von A. Angot über die tägliche Luftdruckschwankung zu dem gleichen Resultate gekommen.[1]

J. Fényi hat aber in seiner sehr beachtenswerten Untersuchung über den tägliches Gang des Luftdruckes zu Kalocsa (Met. Zeitschr. 1911, p. 451) dieses Jännermaximum der Amplitude nicht gefunden. Die Sommermonate haben daselbst größere Amplituden als die Wintermonate. »Auf dieses

[1] J. Hann: Untersuchungen über die tägliche Oszillation des Barometers. Diese Denkschriften, Bd. LV, Wien 1889. Auf p. 91 wird auch die dritteltägige Oszillation ganz kurz behandelt für 10 Stationen. — Derselbe: Weitere Untersuchungen über die tägliche Oszillation des Barometers. Diese Denkschriften, Bd. LIX, Wien 1892. Behandelt hauptsächlich den Einfluß der Seehöhe auf die tägliche Luftdruckschwankung, die »thermische Druckwelle« auf Berghöhen. Meine zahlreichen anderen Arbeiten über die tägliche Luftdruckschwankung, die zumeist in den Sitzungsberichten der kaiserlichen Akademie erschienen sind, werden an den Orten, wo auf sie Bezug genommen worden, auch zitiert werden: Alfred Angot, Étude sur le marche diurne du Baromètre. Annales du Bureau Central Met. de France. Mémoires de 1887. Diese Abhandlung ist aber später erschienen als meine erste oben zitierte. Angot hat aus meiner Arbeit noch eine Anzahl von Stationen, die ich berechnet habe, in seine Abhandlung aufgenommen. Die Annales de 1887 sind eben erst viel später erschienen. Siehe dort: »Onde tiers-diurne«, B. 325 bis B. 336. — Frank N. Cole, Ph. D. The Diurnal Variation of Barometric Pressure. Weather bureau Bulletin Nr. 6, Washington 1892. Die dritteltägige Oszillation des Barometers an den amerikanischen Stationen wird auf p. 19 bis 20 behandelt.

Ergebnis muß besonders hingewiesen werden, weil behauptet worden ist, daß das Hauptminimum der Amplitude (der halbtägigen Luftdruckschwankung) auf das Junisolstitium fällt. Der Widerspruch der Beobachtungen zu Kalocsa ist keineswegs eine Ausnahme; er wird von zahlreichen, vielleicht allen Beobachtungen der Inlandstationen Europas bestätigt (l. c., p. 456).

In diesem Widerspruch fand ich eine Aufforderung, das ältere Ergebnis meiner Untersuchungen nochmals mit Hilfe des seither sehr erheblich zugewachsenen Beobachtungsmaterials einer gründlichen Nachprüfung zu unterziehen.

Die Sicherstellung eines unmittelbaren solaren Einflusses als Folge der jährlichen Änderung der Sonnenferne gegen die Erde auf die jährliche Periode der Amplituden der halbtägigen Luftdruckschwankung hat ja doch ein großes wissenschaftliches Interesse.

Ich begann zu diesem Zwecke schon früher alles neue Beobachtungsmaterial über die tägliche Luftdruckschwankung zu sammeln, namentlich jenes aus der südlichen Halbkugel, von welcher mir und Angot seinerzeit noch recht dürftige Beobachtungen vorlagen. In der meteorologischen Zeitschrift und namentlich auch in den Sitzungsberichten der kaiserl. Akademie habe ich von Zeit zu Zeit die Ergebnisse dieser Sammlungen schon bearbeitet mitgeteilt. Dieses ganze Materiale sollte nun einheitlich bearbeitet zur vollen Klärung der Frage dieses solaren Einflusses einer Bearbeitung unterzogen werden.

Auf dem Wege zu dieser Untersuchung lenkte mich aber ein anderes Problem in der täglichen Luftdruckschwankung von einer sogleichen Inangriffnahme der eben charakterisierten Arbeit zunächst ab. Während ich früher der dritteltägigen Luftdruckschwankung keine besondere Beachtung geschenkt habe, trat mir diese bei meinen jetzigen vollständigen Berechnungen des gesammelten Materiales als ein ganz besonders interessantes Problem geradezu in den Vordergrund. Bei der Ableitung der Amplituden und Phasenzeiten der achtstündigen Luftdruckschwankung wurde ich geradezu fasziniert von der außerordentlichen, Regelmäßigkeit mit der diese Elemente sich an den verschiedensten Orten, das heißt an Orten verschiedenster Lage und in ganz verschiedenen Klimaten aus den Rechnungen ergaben, trotz der im allgemeinen kleinen Amplituden. Gerade denjenigen, der mit klimatischen und meteorologischen Elementen sich regelmäßig beschäftigt, verblüfft diese Gesetzmäßigkeit, die ihm auf den genannten Gebieten fremd geworden ist, eine Gesetzmäßigkeit, die nicht bloß in den Mitteln, sondern auch in den Einzelfällen bei der dritteltägigen Luftdruckschwankung zu Tage tritt.

Ich berechnete für 102 Orte auf beiden Hemisphären die Konstanten der dritteltägigen Luftdruckschwankung ganz oder doch zum größten Teile selbst, obgleich ich der Arbeit von Angot vieles hätte entnehmen können (von der südlichen Halbkugel finden sich jedoch bei Angot nur sehr wenige Stationen). Aber ich wäre dabei für meine Darstellungen zu Umrechnungen genötigt gewesen, die lästig und zum Teile recht unsicher gewesen wären.

Zur Berechnung der Phasenzeiten und Amplituden ist man für einen großen Teil des Jahres auf sehr kleine Größen angewiesen, aus denen die Phasenzeiten (und Amplituden) zu bestimmen sind. Die derart berechneten Phasenzeiten (Quotienten sehr kleiner durch viel größere Zahlen) sind für die einzelnen Orte deshalb mit großen Unsicherheiten behaftet. Um diesen möglichst zu entgehen und um überhaupt zu einer größeren Übersichtlichkeit der Phasenzeiten und Amplituden zu gelangen, muß man daran denken, Gruppenmittel von Stationen zu bilden. Die Winkelgrößen, welche die Phasenzeiten angeben, variieren aber einen großen Teil des Jahres hindurch (Sommer und Winter zumeist ausgenommen) so sehr, daß man an eine Mittelbildung nicht denken kann. Mittel von Winkeln, die in verschiedenen Quadranten liegen, sind ja unzulässig. Man muß deshalb auf die ursprünglichen Sinus- und Cosinusreihen zurückgehen, aus welchen die Phasenzeiten und Amplituden erst berechnet werden können, also auf die Größen $p \sin 3x + q \cos 3x$. Aus den Konstanten p und q verschiedener Orte darf man aber unbedenklich Mittelwerte bilden. Diese Mittelwerte sind schon sicherer und gestatten auch genauere Werte der Phasenwinkel A_3 und der Amplituden a_3 abzuleiten.[1]

---

[1] Die dritteltägige Druckschwankung ist bekanntlich gegeben durch die zwei Glieder $p \sin 3x + q \cos 3x$. Direkt liefert die Rechnung die Konstanten p und q, $p:q$ gibt dann tang A_3, wo A_3 der Phasenwinkel, $q : \cos A_3$ liefert die Amplitude a_3.

Es lag mir deshalb ob, überall die Konstanten p und q zu berechnen, auch dort, wo die A_3 und a_3 schon berechnet vorlagen. Die Zurückrechnung der ersteren aus diesen letzteren ist lästig und unsicher, so daß ich sie lieber direkt neu rechnete.

Ich habe für Stationsgruppen nach Breitengraden die Mittelwerte der Konstanten p_3 und q_3 gerechnet und dann aus diesen die mittleren Phasenzeiten und die mittleren Amplituden. Diese Mittelwerte findet man in einer später folgenden Tabelle zusammengestellt. Es schien mir aber nötig zu sein, auch für jede Station die Monatswerte der p_3 und q_3 und die daraus berechneten Phasenmittel A_3 und Amplituden a_3 einzeln mitzuteilen und in einer Tabelle zu sammeln, damit man auch andere Gruppierungen der Stationen vornehmen oder auf selbe etwa andere Untersuchungen stützen könne. Es ist ja gewiß wünschenswert, die berechneten Konstanten der dritteltägigen Luftdruckschwankung für jede Station mitzuteilen. Der große Zeitaufwand und die große Mühe, die mir diese Berechnungen verursacht haben, wird dadurch auch einigermaßen besser gelohnt.

Es könnte scheinen, daß bei der großen Regelmäßigkeit des Auftretens der dritteltägigen Luftdruckschwankung die Berechnung der Beobachtungen einer geringen Zahl von Stationen genügt haben dürfte. Aber im vorhinein war das nicht so deutlich ausgesprochen, und es lag mir daran, die verschiedenen Einflüsse auf das Auftreten dieser Luftdruckschwankung untersuchen zu können, die regionalen sowohl als etwaige lokale Einflüsse, um etwaige voreilige Schlüsse zu vermeiden. Es wurde mit Hilfe dieser zahlreichen Stationen nicht allein die Abhängigkeit der Erscheinung von der geographischen Breite untersucht, sondern auch die Einflüsse des Land- und Seeklimas, der Seehöhe und bis zu einem gewissen Grade auch jene der Witterung.

Dieser Abhandlung habe ich außer der vollständigen Zusammenstellung der Konstanten der dritteltägigen Druckschwankung für beide Hemisphären schon im voraus (für den II. Teil derselben) am Schlusse die Konstanten der ganztägigen und der halbtägigen Luftdruckschwankung auf der südlichen Halbkugel beigegeben, von welcher bisher so wenig darüber vorlag.

Ergebnisse meiner Untersuchung der dritteltägigen Luftdruckschwankung.

Einleitung.

Da die dritteltägige (achtstündige) Luftdruckschwankung in den Beobachtungen, in den Stundenmitteln des Luftdruckes, nicht direkt zu Tage tritt, der analytische Ausdruck für selbe: $a_3 \sin(A_3 + 45° h)$ [wo a_3 die Amplitude, A_3 der konstante Phasenwinkel, h die Tagesstunde bezeichnet] nur den Ablauf derselben in der allgemeinsten Form darlegt, erscheint es zweckmäßig, diese tägliche Druckschwankung in numerischen Werten auch direkt vor Augen zu führen.

Ich wähle dazu die Form, in welcher die achtstündige Luftdruckschwankung unter den Breitegraden, wo ihre Amplitude auf der Süd- und Nordhalbkugel einen Maximalwert erreicht und wo sie mit entgegengesetzten Phasenzeiten auftritt, das ist um die Sommer- und Wintermitte der betreffenden Halbkugel.

Aus der später folgenden übersichtlichen Zusammenstellung meiner Rechnungsergebnisse benutze ich die folgenden Gleichungen:

27° Südbreite.

Sommer (Dezember und Jänner): . $0 \cdot 120 \sin(173° + 3x)$
Winter (Juni und Juli): . . . . $0 \cdot 158 \sin(3° + 3x)$

28° Nordhalbkugel.

Winter (Dezember und Jänner): . $0 \cdot 200 \sin(3° + 3x)$
Sommer (Juni und Juli): . . . . $0 \cdot 075 \sin(176° + 3x)$.

Ich kann schon hier darauf aufmerksam machen, daß die Umkehrung der Phasenzeiten vom Winter zum Sommer auf jeder Halbkugel eine vollkommene ist und daß die Phasenwinkel des Sommers jenen des Winters auf der anderen Halbkugel entsprechen und umgekehrt die Amplituden sind in beiden Halbkugeln im Winter am größten, im Sommer (immer ist die Jahreszeit der betreffenden Halbkugel gemeint) am kleinsten.

Die dritteltägige (achtstündige) tägliche Luftdruckschwankung auf der südlichen und auf der nördlichen Halbkugel in den extremen Jahreszeiten.

Abweichungen der Stundenmittel vom Tagesmittel in der Breite der größten Amplituden dieser Schwankung.

	Unter 27° Südbreite		Unter 28° Nordbreite			Unter 27° Südbreite		Unter 28° Nordbreite	
	Sommer (Dezember-Jänner)	Winter (Juni-Juli)	Winter (Dezember-Jänner)	Sommer (Juni-Juli)		Sommer (Dezember-Jänner)	Winter (Juni-Juli)	Winter (Dezember-Jänner)	Sommer (Juni-Juli)
Mittn.	·015	·008	·010	·005	Mittg.	—·015	—·008	—·010	—·005
1	—·074	·118	·149	—·049	1	·074	—·118	—·149	·049
2	—·119*	**·158**	**·200**	—·075*	2	**·119**	—·158*	—·200*	**·075**
3	—·080	·106	·134	—·057	3	·080	—·106	—·134	·057
4	—·015	—·008	—·010	—·005	4	·015	·008	·010	·005
5	·074	—·118	—·149	·049	5	—·074	·118	·149	—·049
6	**·119**	—·158*	—·200*	**·075**	6	—·119*	**·158**	**·200**	—·075*
7	·080	—·106	—·134	·057	7	—·080	·106	·134	—·057
8	·015	·008	·010	·005	8	—·015	—·008	—·010	—·005
9	—·074	·118	·149	—·049	9	·074	—·118	—·149	·049
10	—·119*	**·158**	**·200**	—·075*	10	**·119**	—·158*	—·200*	**·075**
11	—·080	·106	·134	—·057	11	·080	—·106	—·134	·057

Die Eintrittszeiten der Maxima und Minima sind:

Südhalbkugel,	Sommer: Maxima	6^h a.	2^h p.	10^h p.	Minima	2^h a.	10^h a.	6^h p.
	Winter: »	2^h a.	10^h a.	6^h p.	»	6^h a.	2^h p.	10^h p.
Nordhalbkugel,	Sommer: »	6^h a.	2^h p.	10^h p.	»	2^h a.	10^h a.	6^h p.
	Winter: »	2^h a.	10^h a.	6^h p.	»	6^h a.	2^h p.	10^h p.

In Bezug auf die Jahreszeiten stimmt der Eintritt der Extreme in beiden Hemisphären überein, natürlich aber nicht in Bezug auf die gleichnamigen Monate, in Betreff dieser ist also gleichzeitig der Eintritt der entgegengesetzte.

Ich möchte auch darauf aufmerksam machen, daß in beiden extremen Jahreszeiten auf der Nord- wie auf der Südhalbkugel übereinstimmend der Luftdruck um Mitternacht höher und Mittag niedriger ist als im Mittel (in der achtstündigen Periode); das gleiche ist der Fall um 8^h a. und um 8^h p.

Wenn ich früher gesagt habe, daß die dritteltägige Luftdruckschwankung in den Stundenmitteln des Luftdruckes nicht direkt zu Tage tritt, so ist das nicht ganz richtig.

Rykatschew hat schon 1877 nachgewiesen, daß in den mittleren Breiten der nördlichen gemäßigten Zone im Dezember und Jänner ein (kleines) drittes nächtliches Maximum des Luftdruckes sich bemerkbar mache. Dieses Maximum wird ganz offenbar hervorgebracht durch das nächtliche Maximum der dritteltägigen Luftdruckschwankung im Winter, das nach unserer Tabelle um 2^h a. eintritt und nicht bloß für 28° Breite gilt, sondern auch für die höheren Breiten, allerdings in

verringerten Betrage, örtlich ist aber die Amplitude noch größer als 0·2 *mm*, mit welcher wir gerechnet haben: Jänner Hongkong 0·23, Zi-ka-wei 0·24, Peking 0·22, Japan fast 0·23, Irkutsk (obgleich schon unter 52°), Washington fast 0·21 u. s. w. Auch die Phasenzeit, der Eintritt des Maximums, verändert sich nur wenig mit der Breite. Wir haben mit $A = 3°$ gerechnet, nach Norden zu liegt A_3 zwischen 360—350°, größte Differenz 13°, die nicht einmal 20 Minuten, da eine Stunde Zeitdifferenz eine Änderung von A_3 um 45° entspricht.

Wir lassen nun die Äußerung von Rykatschew über das nächtliche Luftdruckmaximum folgen:

Das dritte nächtliche Barometermaximum.

Im Bulletin der Petersburger Akademie vom 3./15. Mai 1877 (T. XXIV) findet sich eine Mitteilung von Rykatschew: Note sur un 3ième maximum de la marche diurne du Baromètre en hiver dans la Zone Tempérée de l'hemisphère boréal, in welcher der Autor sagt: Bei der Bearbeitung eines Werkes über den täglichen Gang des Barometers in Rußland habe ich gefunden, daß im Winter und namentlich im Jänner der Luftdruck in seinem täglichen Gange noch ein drittes Maximum zwischen 1 und 2^h nachts erreicht. Diese Tatsache konnte konstatiert werden sowohl durch Vergleichung der Resultate für verschiedene Beobachtungsperioden an einem einzigen Orte als auch durch Vergleichung der Luftdruckkurven verschiedener Stationen. [1]

Nachdem einmal dieses interessante Phänomen für die russischen Stationen festgestellt war schien es wahrscheinlich, daß es sich auch gleicherweise in anderen Gegenden würde auffinden lassen, und es hat sich in der Tat gezeigt, daß überall in Europa, Asien und in Amerika in der gemäßigten Zone im täglichen Gange des Barometers ein drittes Maximum (oder wenigstens eine Verminderung der Druckabnahme) zwischen 1 und 3^h Nachts eintritt, wie in einer Tabelle gezeigt wird [siehe auch Zeitschrift der Österr. Gesellsch. für Meteorol. 1877, Bd. XII, p. 431 und 432), welche den täglichen Gang des Luftdruckes im Jänner an mehreren Stationen enthält. [2]

Man sieht, sagt Rykatschew, daß dieses dritte Maximum größer ist zwischen 40 bis 45° N als in höheren Breiten und daß es in den Tropen verschwindet.

»Vor dem Nachweis dieses dritten nächtlichen Maximums konnte man annehmen, daß die Zunahme des Luftdruckes zwischen 1 und 2^h Nachts im Winter an irgend einer Station eine zufällige Erscheinung sei und abhänge von der ungenügenden Zahl der Beobachtungen oder von Beobachtungs- und Rechnungsfehlern, und man hat versucht, diese scheinbare Unregelmäßigkeit mit Hilfe der Bessel'schen Formel oder anderswie verschwinden zu machen.«

Rykatschew warnt deshalb vor Ausgleichungsrechnungen, wie sie zum Beispiel auch Fritsche für Peking vorgenommen und dadurch das dritte nächtliche Minimum im Jänner unterdrückt hat. [3]

Einige Beispiele für das dritte nächtliche Maximum (die nicht bei Rykatschew stehen) mögen hier Platz finden.

---

[1] Das Werk, auf welches Rykatschew anspielt ist später erschienen in Wild's Rep. für Meteorologie, Bd. VI. Nr. 10 Petersburg 1879. Daselbst wird (p. 40) unter Nertschinsk bemerkt, daß daselbst in jeder der 3 Perioden, 1. 1842/45, 2. 1848,49 und 1851/55 und 3. 1856 62 sich ein drittes kleines Maximum des Luftdruckes im Jänner zwischen 2 und 3^h einstellt, auch im Dezember und Februar ist es zu bemerken.

[2] Die meiner und Angot's Abhandlung beigegebenen Tabellen des täglichen Ganges geben fernere Nachweise dafür, namentlich für Petersburg, Kasan, Gröningen, Greenwich, Prag, München, Bern, Neapel, Katherinenburg, Barnaul, Nertschinsk, Nukuss, Tiflis, Peking, Sitka, Toronto, Albany und Philadelphia.

[3] Anschluß längerer zweistündiger Beobachtungen auf graphischem Wege an kürzere stündliche, siehe auch Zi-ka-wei.

Abweichungen der Stundenmittel vom Tagesmittel.

	Mittn.	1^h	2^h	3^h	4^h		Mittn.	1^h	2^h	3^h	4^h
Zi-ka-wei 31° 13' N 5 Jahre						Irkutsk 52° 8 Jahre					
Dez. . . .	·24	·01	**·07**	—·04	—·22	Dez. . . .	·00	—·15	—·14	—**·13**	—·28
Jänn. . .	·28	·03	**·19**	·03	—·13	Jänn. . .	—·07	—·04	·03	**·06**	—·03
Zi-ka-wei 14 Jahre						Bukarest 1 10 Jahre					
Jänn. . .	·18	·12	·06	—·10	—·20	Jänn. . .	·11	·00	**·05**	·03	·11
Peking 39° 57' N 5 Jahre						Washington 38° 54' 14 Jahre					
Dez. . . .	·30	·22	**·31**	·26	·10	Dez. . . .	—·02	—·09	—·07	—**·00**	—·09
Jänn. . .	·39	·23	**·30**	·25	·10	Jänn. . .	·14	—·22	—·12	—**·05**	—·17
Osaka 34° 42' N 17 Jahre						Baltimore 10 Jahre					
Dez.	·19	·07	**·13**	·09	—0·3	Jänn. . .	—·11	—·11	—·14	—**·09**	—·19

Die Mittel von Zi-ka-wei aus 14 Jahren zeigen das nächtliche Minimum nicht, sie sind aber abgeleitet durch Verschmelzung zweijähriger bloß vierstündiger Beobachtungen mit 12jährigen stündlichen Beobachtungen, wobei offenbar das kleine nächtliche Maximum um 2^h a. unterdrückt worden ist.

In meinen »weiteren Untersuchungen über die tägliche Oszillation des Barometers«, diese Denkschriften, Bd. LIX, 1892, p. 343 und 344, habe ich gezeigt, daß zu Tokio 1886/1890 Jahr für Jahr der Luftdruck von 1^h a. auf 2^h a. steigt, auch das dritte Maximum zu Eger findet man daselbst. Obgleich zu Hongkong 22° N die Jänneramplitude der achtstündigen Luftdruckschwankung 0·23 *mm* beträgt, ist kein nächtliches Maximum direkt in den Beobachtungen vorhanden, es wird durch die großen Amplituden der halb- und ganztägigen Druckschwankung schon überdeckt, dasselbe gilt natürlich noch mehr für niedrigere Breiten. Auf der südlichen Halbkugel habe ich meinen Tabellen der stündlichen Luftdruckabweichungen zu Sydney, Buenos Aires, Cordoba etc.·36 bis 31° südl. Breite das nächtliche Druckmaximum nicht finden können. Die Amplitude der dritteltägigen Schwankung ist daselbst (auch im Winter) wesentlich kleiner als auf der nördlichen Halbkugel.

Über den Einfluß, welchen die rechnerische oder auch graphische Ausgleichung des nächtlichen Luftdruckmaximums auf die berechnete achtstündige Druckschwankung ausübt, findet man in einer Anmerkung die von mir abgeleiteten Werte.[1]

---

[1] Zi-ka-wei *A*. 5 Jahre stündlich, nächtliches Maximum im Jänner. *B*. 14 Jahre kein nächtliches Maximum. Es liefert *A*. 0·248 sin $(2°8+3x)$, *B*. 0·245 sin $(2°1+3x)$, also kein Einfluß zu bemerken.

Peking bei Fritsche 14 Jahre. *B*. ohne nächtliches Maximum, *A*. 5 Jahre, nächtliche Maxima, die oben ersichtlicht gemacht worden sind.

B. Dez. 0·239 sin $(348·6+3x)$ Jänn. 0·222 sin $(345·6+3x)$ ohne nächtliches Maximum,
A. » 0·246 sin $(350·4+3x)$ Jänn. 0·196 sin $(352·1+3x)$ mit nächtlichem Maximum.

Es ist auch hier kein merklicher Einfluß der Verwischung des nächtlichen Maximums zu bemerken. Man darf also nicht besorgen, daß die in den folgenden Tabellen berechneten Werte von A_3 und a_3 durch Ausgleichung des dritten nächtlichen Maximums abgeschwächt worden sind. Zugleich sieht man, daß schon fünfjährige Beobachtungen verläßliche Werte für A_3 und a_3 liefern.

Eingehende Beschreibung der dritteltägigen Luftdruckschwankung.

I. Die Phasenzeit der achtstündigen Luftdruckschwankung.

Das am meisten charakteristische der dritteltägigen Luftdruckschwankung besteht in der Umkehrung der Phasenzeit vom Winter zum Sommer in jeder Hemisphäre. Diese Umkehrung erfolgt um die Zeit der Äquinoctien in den Monaten März oder April und September oder Oktober Zu gleichen Zeiten sind die Phasenzeiten der beiden Hemisphären die entgegengesetzten. In den Monaten November bis Februar und Mai bis August bleibt die Phasenzeit konstant.

Die folgende Tabelle zeigt in übersichtlicher Weise die mittleren Phasenzeiten und Amplituden unter den verschiedenen Breiten der südlichen und der nördlichen Halbkugel.

Phasenzeiten und Amplituden der dritteltägigen Luftdruckschwankung unter den verschiedenen Breitegraden.

Breite	Zahl der Orte	Phasenwinkel A_3		Amplitude a_3	
		Nov.—Febr.	Mai—Juli	Nov.—Febr.	Mai—Juli
36°1 Süd	(7)	176·6	4·3	·100	·143
27·2 »	(7)	171·8	1·0	**·107**	**·150**
17·9 »	(5)	178·0	5·4	·082	·131
8·7 »	(5)	148·1	19·4	·041	·062
3·7 »	(6)	159·3	9·2	·018*	·032
5·9 Nord	(5)	52·8	104·4	·044	·022*
16·5 »	(6)	366·1	176·1	·137	·049
23·7 »	(5)	366·5	170·6	**·180**	·065
32·2 »	(6)	365·8	177·9	·179	**·075**
38·3 »	(7)	358·4	165·5	·157	·055
42·2 »	(8)	359·5	167·3	·142	·051
45·5 »	(9)	350·8	142·1	·119	·049
50·1 »	(9)	351·0	156·6	·110	·053
53·0 »	(7)	353·2	141·0	·084	·031
58·7 »	(9)	348·1	146·5	·058	·030
(67·5) »	(1)	315·6	187·7	·042	·017
(73·4) »	(1)	364·1	298·6	·018	·012

Man sieht im allgemeinen, daß die Phasenzeiten mit der Breite sich wenig ändern, wenn man von den Sprüngen in der Äquatorialgegend, wo die Umkehrung derselben einsetzt, absieht. Die Breite, in welcher die Umkehrung erfolgt, wird am deutlichsten ersichtlich gemacht dadurch, daß die Amplituden in dieser Gegend ein Minimum erreichen. Nach unserer Tabelle fällt auf der südlichen Halbkugel dieses Minimum auf etwa 4° südl. Breite (November/Februar), auf der nördlichen auf eine etwas höherer Breite. Auf die später folgende Darstellung der Änderung der maximalen Amplituden mit der Breite muß hier vorläufig verwiesen werden, die bezüglichen Kurven lassen die geographische Breite der Minimum- und Maximumwerte viel genauer beurteilen als die vorstehende Tabelle der numerischen Mittelwerte nach Breitegruppen und damit dann auch die Gegend der Umkehrung der Phasenzeiten. Nach der graphischen Ausgleichung tritt selbe am Äquator selbst ein.

Nach unserer Tabelle hält sich von November bis Februar die Phasenkonstante A_3 von 36 bis 18° S bei 175°, geht dann nach Nord hin zurück auf etwa 150°, dann in den ersten Quadranten und hält sich von etwa 17° bis 32° N bei 6°. Dann wandert sie in den vierten Quadranten und verweilt von 38° bis 53° N im Mittel bei etwa 355°. Unter 59° finden wir den Phasenwinkel 348° und unter

70° etwa 340°. Diese Änderungen sind im Zeitmaße gering, denn die Änderung von 6° (d. i. 366°) bis 340° beträgt nur 26°. Dies entspricht einer Verspätung des Eintrittes der Extreme um 26° : 45° = = 0·58 Stunden oder 35 Minuten. Die Phasenzeiten bleiben also, nachdem sich die Umkehrung in der Äquatorialgegend einmal vollzogen hat, auf der ganzen Hemisphäre sehr konstant.

Ähnlich verhält es sich von Mai/Juni mit den nun umgekehrten Phasenzeiten. Von 36 bis 18° S finden wir den mittleren Phasenwinkel 3°, der dann auf etwa 14° vorrückt. Bei 6° N springt er in den ersten Quadranten. Von 17° N bis 32° N finden wir die Phasenkonstante 175°, dann wieder rückschreitend von 38 bis 42° auf 166°, von 42 bis 59° auf etwa 146°, die ganze Änderung von 17° bis 59° N beträgt demnach nur 29°, also 0·65 Stunden oder 39 Minuten. Also wieder sehr konstante Phasenzeiten fast auf der ganzen Hemisphäre, wie wir dies auch für November/Februar gefunden haben. Im allgemeinen tritt eine Verspätung der Phasenzeiten mit wachsender Breite ein, die aber, wie gezeigt, wenig über eine halbe Stunde beträgt.

Bei einem Phasenwinkel von 175° tritt das erste Minimum um 2^h a. ein, das erste Maximum um 6^h a., beim Phasenwinkel von 6° finden wir das erste Maximum nach 2^h a., das erste Minimum nach 6^h a. u. s. w.

Noch unter 59° N weicht der tägliche Gang der achtstündigen Druckschwenkung nur wenig ab von jenem, den wir für 28° N berechnet haben (siehe Tabelle, p. 4).

Mittlere dritteltägige Druckschwankung unter 59° N.

	Mittn.	1^h	2^h	3^h	4^h
Dez.—Jänn.	—·014	·033	**·060**	·053	·014
Mai—Juni	·017	—·007	—·027	**—·031**	·017

Dezember/Jänner: Maximum etwa 2^h20 a., Mai/Juni: Minimum etwa um dieselbe Zeit. Also nur eine kleine Verspätung gegen 28° N.

Die folgende kleine Tabelle gibt eine Übersicht der Änderungen der Phasenzeiten nach Monatsabschnitten. Die Werte für die Übergangsmonate März und April, dann September und Oktober sind nicht genau, sondern nur beiläufige, da sie (wie die ausführliche Tabelle der Mittelwerte für Breitegruppen zeigt) veränderlich sind, und Quadrantenwechsel vorkommen. Dagegen sieht man, daß die Phasenzeiten von Mai bis August und von November bis Februar sehr konstant bleiben.

Mittlere Phasenzeiten.

Jänn.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
36° bis 18° Südbreite.											
175·5	167·6	118·8	8·2	6·1	5·7	1·0	3·6	21·6	132·8	172·1	175·8
16° bis 38° Nordbreite.											
360·8	358·5	13·3	137·4	167·3	175·2	175·9	182·0	37·3	9·7	8·1	3·7
42° bis 59° Nordbreite.											
348·2	340·4	328·8	133·5	159·2	149·7	145·3	149·7	336·2	343·6	354·6	354·8

Die Übergangsmonate sind durch fette Striche abgegrenzt.

Einer Abhandlung von Dr. Frank N. Cole[1] entnehmen wir das folgende lehrreiche Täfelchen über die Eintrittszeiten des ersten Maximums in der dritteltägigen Luftdruckschwankung an 6 Stationen in den Vereinigten Staaten in einer mittleren Breite von 40°5 N. Wir haben auch die Mittel der Amplituden beigefügt, in welchen die Übergangsmonate sich sehr kenntlich machen.

Eintritt des ersten Maximums am Morgen.

Ort	Breite	Jänn.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli
Boston . .	42° 21'	1·40^{h}	1·38^{h}	1·10^{h}	5·22^{h}	6·06^{h}	6·04^{h}	(5·22^{h}
New York .	40 43	1·49	2·15	1·41	6·37	7·13	6·14	6·34
Philadelphia	39 57	2·16	2·16	1·16	5·36	6·40	6·22	7·16
Chicago .	41 50	1·59	2·17	2·22	4·08	6·31	6·45	7·04
St. Louis .	38 38	2·23	2·20	3·20	5·04	6·30	6·48	6·05
Denver . .	39 45	2·01	2·18	1·31	6·57	6·06	6·09	6·38
Mittel .	40 32	2·01	2·11	1·53	5·37	6·31	6·24	6·30
Amplituden *								
Mittel .	40° 42'	·175	·114	·038 *	·041	·064	**·071**	·064

Ort	Breite	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Nov./Febr. Mittel	Mai/August Mittel
Boston . .	42° 21'	6·09^{h}	1·29^{h}	1·16^{h}	1·40^{h}	1·48^{h}	1·41^{h}	5·55^{h}
New York	40 43	6·32	1·42	1·23	1·36	1·58	2·09	6·38
Philadelphia	39 57	5·58	3·19	1·43	1·53	2·16	2·10	6·34
Chicago .	41 50	5·40	3·45	2·00	1·53	2·12	2·05	6·30
St. Louis .	38 38	5·33	2·26	2·04	2·11	2·02	2·14	6·14
Denver . .	39 45	6·54	5·22	2·53	1·31	1·48	1·55	6·27
Mittel .	40 32	6·07	3·01	1·53	1·47	2·01	2·02	6·22
Amplituden *								
Mittel .	42° 21'	·041	·025 *	·071	·132	**·180**	·150	·060

* Ohne Denver, das 1630 *m* hoch liegt.

Mit Recht bemerkt Cole, daß die Amplituden und Phasenzeiten der einzelnen Stationen eine bemerkenswerte Übereinstimmung zeigen, größer noch als bei der halbtägigen Druckschwankung. Dabei liegen diesen Resultaten nur Aufzeichnungen von 3 bis 4 Jahren (selbst nur 2 Jahre, Denver) zu Grunde.

Unsere Phasenzeiten beziehen sich auf mittlere Zeit, nicht auf wahre Zeit, der Einfluß der Zeitgleichung ist bei der achtstündigen Druckschwankung, bei der 45° gleich 1 Stunde, schon recht bedeutend und wäre zu berücksichtigen, wenn die Phasenzeiten mit der wahren Zeit (Sonnenzeit) in engere Beziehung gesetzt werden sollten.[2]

[1] The diurnal Variation of barometric pressure. Washington 1892. Weather bureau Bulletin Nr. 6, p. 19 und 20.

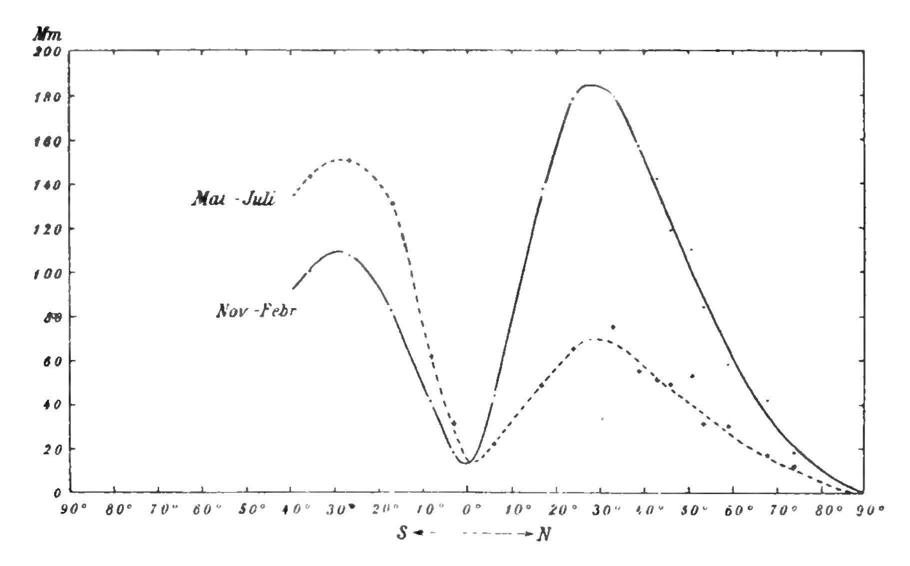
[2] Man vergleiche, was J. Fényi in seiner interessanten und wichtigen Abhandlung »Über den täglichen Gang des Luftdruckes in Kalocsa« über die Phasenzeiten der dritteltägigen Luftdruckschwankung sagt. Met. Zeitschrift 1911, p. 456 usw.

Die Amplituden der dritteltägigen Luftdruckschwankung.

Infolge des Phasenwechsels dieser Druckschwankung in den entgegengesetzten Jahreszeiten, welche die Amplituden derselben um die Zeit der Äquinoktien nahe gleich Null werden läßt, hat ein Jahresmittel der Amplituden keinerlei Bedeutung. Da die Amplituden im Winter größer sind als im Sommer, so ergibt sich allerdings ein kleiner Mittelwert, der auf Rechnung dieses Überschusses kommt. Der sehr geringe Betrag dieses Jahresmittels hat zur Folge gehabt, daß die dritteltägige Luftdruckschwankung so wenig Beachtung gefunden hat.

In einer Tabelle auf p. 11 findet man die Mittelwerte der maximalen Amplitude in den Monaten November bis Februar und Mai/Juli nach Breitegraden zusammengestellt. Zu diesem Zwecke wurden aus der großen Tabelle im Anhange die Amplituden (und Phasenzeiten) der einzelnen Stationen in jedem Monate in Gruppenmittel zusammengefaßt und derart zunächst die Tabelle p. 16 und 17 erhalten.

Die Amplituden in den extremen Monaten November bis Februar und Mai bis Juli zeigen eine vollständige Abhängigkeit von der geographischen Breite, welche am deutlichsten in der folgenden graphischen Darstellung der Größe der Amplituden zu Tage tritt.



Änderung der Amplitude (a_3) der dritteltägigen Druckwelle mit der geographischen Breite in den extremen Jahreszeiten. Gestrichelt Süd, voll Nord.

Die Gesetze der Abhängigkeit der Amplituden von der geographischen Breite lassen sich kurz so aussprechen.

1. Die Maxima treten auf beiden Halbkugeln und in jeder der extremen Jahreszeiten unter 30° Breite ein.

Es ist dies sehr bemerkenswert, weil der 30. Parallelgrad die Hemisphären in zwei gleiche Teile, in Hälften teilt.

Unter dem 30. Breitegrad finden wir die höchsten Wellenberge und die tiefsten Wellentäler der dritteltägigen Druckschwankung (die also dreimal im Tage eintreten) zur Zeit der größten Entwicklung dieser atmosphärischen Oszillation, das ist beim höchsten und tiefsten Sonnenstande in jeder Halbkugel.

Wir stehen also vor einer allgemeinen Schwingung der Atmosphäre mit höchster Entwicklung in der Mitte jeder Halbkugel. Diese Schwingung zeigt sich dadurch unabhängig von der Unterlage der Atmosphäre, denn der 30. Breitegrad im Norden verläuft über 42% Landbedeckung, der 30. Breitegrad der Südhalbkugel nur über 18% Land.

2. Die Maxima der Amplituden sind in den Wintermonaten in jeder Halbkugel am größten. Das Wintermaxima verhält sich zu dem Sommermaxima auf der südlichen Halbkugel wie 138 zu 100, (150 : 109), auf der nördlichen Halbkugel wie 265 zu 100 (183 : 69), das Wintermaximum ist also hier relativ fast zweimal größer als im Süden.

Die Differenz der maximalen Amplituden beträgt in der südlichen Halbkugel $150-109=41$, in der nördlichen $183-69=114$, die Differenz ist hier somit fast dreimal größer als im Süden. Die viel extremeren Temperaturverhältnisse der nördlichen Halbkugel scheinen in diesen Zahlen zum Ausdrucke zu kommen. Man wird aber später sehen, daß die Temperaturextreme auf gleichen Parallel kaum einen Einfluß auf die Größe der Amplitude zu haben scheinen.

Es dürfte schwer sein, einen passenden Ausdruck für diese Unterschiede zu finden. Nach den neueren Beobachtungen scheinen die Temperaturdifferenzen zwischen 80° N und S und dem Äquator etwa folgende zu sein. Jänner auf der Nordhalbkugel 67°, auf der Südhalbkugel nur 32°, im Juli: Äquator und 80° N etwa 27°, Äquator und S 80° aber 57°. Dem entsprechen die mittleren Amplituden Jänner: N, ·183 *mm*, S, ·109 *mm*, Juli N, ·069 *mm*, S, ·150 *mm*. Den größeren Temperaturdifferenzen zwischen den extremen Breitegraden entsprechen in der Tat auch größere Amplituden. Für eine Theorie der dritteltägigen Luftdruckschwankung dürfte dieser Hinweis eine Beachtung verdienen.

Es kommen aber dabei jedenfalls nur die mittleren Temperaturen der Breitegrade in Betracht, denn es wird sich später zeigen, daß große Temperaturunterschiede auf demselben Breitegrad kaum einen Einfluß auf die Verteilung der Größe der Amplituden auf diesen Breitegrad haben. Auch das Kontinental- und Seeklima hat auf die Amplituden nur einen geringen Einfluß (wenn überhaupt).

Die folgende kleine Tabelle enthält die der graphischen Darstellung entnommenen mittleren Amplituden unter den verschiedenen Breiten.

Amplitude a_3 in Tausendstel Millimetern.

40° S	30°	20°	10°	Äq.	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
November—Februar													
91	**109**	90	46	12*	69	160	**183**	148	101	60	29	10	(0)
Mai—Juli													
134	**150**	138	72	14*	33	57	**69**	56	40	25	14	5	(0)

Die jährliche Periode der Amplituden der dritteltägigen Luftdruckschwankung.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über den jährlichen Gang der Amplituden der achtstündigen atmosphärischen Druckschwankung.

Die Regelmäßigkeit und außerordentliche Übereinstimmung dieses Ganges unter allen Breitegraden gibt der dritteltägigen Oszillation fast den Charakter einer kosmischen Erscheinung. Dazu kommt noch, wie weiter nachzuweisen sein wird, daß die Eintrittszeiten der Maxima und Minima nicht dem jährlichen Gange der Temperatur, sondern dem Sonnenstande folgen.

Die Minima treten mit größter Übereinstimmung um die Äquinoktien ein, die Maxima bei dem höchsten und tiefsten Sonnenstande, und zwar tritt höchst bemerkenswerter Weise das Hauptmaximum in jeder Halbkugel beim tiefsten Sonnenstande in derselben ein, November—Februar in N, Mai—Juli in S, das sekundäre Maximum beim höchsten Sonnenstande. Diese Eintrittszeiten zeigen keine Gebundenheit an den jährlichen Gang der Temperatur auf dem betreffenden Breitegrade. Sie verspäten sich nicht gegen den Sonnenstand wie die jährlichen Temperaturextreme. Der jährliche Gang der Temperatur ist ja unter den verschiedenen Breitegraden von 36° S bis 59° N recht verschieden, trotzdem bleibt die jährliche Periode der Amplituden die gleiche unter allen Breitegraden.

Jährliche Periode der Amplituden der dritteltägigen (achtstündigen) atmosphärischen Druckwelle.

Breite	Jänn.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Mittel
						Südliche Halbkugel							
36°	**108**	61	19*	77	141	**143**	144	111	60	9*	83	109	89
27	**129**	79	11*	81	129	157	**162**	131	72	25*	82	125	**96**
18	**82**	59	9*	58	115	130	**147**	119	60	15*	71	**93**	80
9	**57**	29	18*	35	59	**71**	57	47	50	34	23*	44	44
						Äquatoriale Zone							
4° S	10	6*	19	39	**39**	29	36	31	**40**	21	20*	25	26*
6 N	41	36	32	26	19*	22	24	24	35	45	**47**	44	32
						Nördliche Halbkugel							
16·5	**158**	115	69	17*	37	**55**	55	27	22*	64	110	142	73
24	**204**	153	86	9*	58	**67**	**71**	48	16*	78	137	200	94
32	**205**	149	67	14*	64	**86**	75	44	14*	82	144	188	**94**
38	**183**	130	51	17*	45	**67**	54	41	14*	58	121	167	79
42	**156**	111	53	8*	49	**59**	59	36	20*	78	122	148	75
45·5	**128**	100	44	10*	43	**53**	52	40	14*	67	107	123	65
50	**121**	83	42	13*	47	**55**	57	34	16*	63	97	113	62
53	**94**	62	31	12*	34	**38**	38	22	14*	46	73	84	46
59	**61**	50	28	14*	31	**32**	28	19	9*	36	49	**63**	35
						Mittelwerte							
36—18° S	**106**	66	13*	72	128	143	**151**	120	64	16*	79	109	88
16—38 N	**188**	137	68	14*	51	**69**	64	40	16*	70	128	174	85
42—53	**125**	89	42	11*	43	**51**	51	33	16*	63	100	117	62
Äquatorial	25	21*	25	**32**	29	26*	30	27	**38**	33	33	**34**	29

Ein, wie es scheint, charakteristischer Unterschied im jährlichen Gange der Amplituden auf beiden Hemisphären besteht darin, daß die Minima auf der südlichen Halbkugel im März und September eintreten, also näher den Äquinoktien als auf der nördlichen Halbkugel, wo sie etwa einen Monat später im April und Oktober sich einstellen. Die Übereinstimmung in den einzelnen Gruppenmitteln ist eine derartige, daß an der Realität dieses Unterschiedes wohl nicht gezweifelt werden kann.

Da die jährliche Periode der Amplituden in beiden Halbkugeln einen entgegengesetzten Verlauf nimmt, ist es selbstverständlich, daß das Äquatorialgebiet zu einem Übergangsgebiet wird, in welchem der jährliche Gang unregelmäßig verläuft und keinen ausgeprägten Charakter zeigt. Unsere große Tabelle der Amplituden (und Phasenzeiten) an den einzelnen Orten im Anhang gibt darüber Rechenschaft. Die Monatsmittelwerte der Amplituden im Äquatorialgebiet zwischen 4° S und 8° N etwa, die wir in eine Gruppe vereinigt haben, können deshalb keine größere Bedeutung beanspruchen. Aber der allerdings wenig markierte Charakter des jährlichen Verlaufes dieser Mittelwerte hat doch große Wahrscheinlichkeit für sich. Wir haben seine Maxima um die Äquinoktien angedeutet sowie Minima beim tiefsten

Sonnenstande. Das entspricht ganz gut einem Übergangsgebiet zu dem entgegengesetzten Verhalten des jährlichen Ganges in den beiden Halbkugeln.[1]

Wir haben hier auch die Mittelwerte der Amplituden für jede Breitegradgruppe gebildet. Eine größere Bedeutung können allerdings diese Mittelwerte (Jahresmittel) nicht in Anspruch nehmen. Aber sie sind doch recht charakteristisch, wie folgende Zusammenstellung derselben nachweisen dürfte.

Jahresmittelwerte der Amplituden für Breitegrade in Millimetern.

S 36°	27°	18°	9°	4°	N 6°	16·5°	24°	32°	38°	42°	45·5	50°	53°	59° N
·089	**·096**	·080	·044	·026*	·032	·073	.094	**·094**	·079	·075	·065	·062	·046	·035

Diese Mittelwerte zeigen, so wie früher die Maxima, Höchstwerte bei 30° S und 30° N und ein Minimum am Äquator, das wohl nahe auf Null hinabgeht. Es wird also auch durch diese Mittelwerte konstatiert, daß die Amplituden der dritteltägigen Luftdruckschwankung in der Mitte jeder Halbkugel ihr Minimum errreichen und sowohl am Äquator wie an den Polen sehr klein werden, wenn nicht verschwinden.

Ich habe den jährlichen Gang der Amplituden durch Sinusreihen ausgedrückt. Allerdings bringen selbe, wenn man nur die ganzjährigen und halbjährigen Glieder berechnet, die tiefen Minima um die Äquinoktien nicht mehr voll zur Geltung, der Sprung in den Amplituden ist um diese Zeiten zu groß, als daß er in einer übersichtlichen Formel noch zum Ausdruck kommen könnte. Und es sind gerade diese Sprünge in den Werten der Amplituden zu den Äquinoktien sehr charakteristisch. Mit dieser Einschränkung ihrer Bedeutung lasse ich meine Formeln folgen, die nur eine Übersicht über den jährlichen Gang geben und Vergleiche erleichtern sollen in Bezug auf die ganz- und halbjährigen Änderungen.

Die Maxima der Amplituden fallen in beiden Hemisphären auf den Dezember und auf den Juni der November hat eine größere Amplitude als der Februar, der Mai eine größere Amplitude als der August. Es bestimmt also der Sonnenstand den Eintritt der Maxima und nicht der Temperaturgang, der ja bekanntlich überall dem ersteren nachhinkt, im allgemeinen um einen Monat sich verspätet.

---

[1] P. Julius Fényi hat aus einjährigen stündlichen Aufzeichnungen zu Cap Flora 80° N (Franz Joseph-Land) die dritteltägige Welle gerechnet und das nachstehende interessante Resultat erhalten:

	Jänn.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
A_3	304	214	255	254	273	83	152	139	110	289	222	364
a_3	·000*	·008	**·015**	**·015**	·008	·008	·000*	·008	·008	**·015**	**·015**	·008

»Die Amplitude hat hier zwei Maxima zur Zeit der Äquinoktien (wie wir dies auch für die äquatorialen Stationen oben gefunden haben). Beide wurden gleich gefunden, wohl deshalb, weil zu den beiden Nachtgleichen die Erde dieselbe Stellung zur Sonne hat, in den Solstitien aber die entgegengesetzte. Die Phasenzeit ist zu beiden Zeiten vollkommen gleich, der Phasenwinkel ist 255° und stationär, während im außerpolaren Gebiete die Amplitude Null ist und der Phasenwinkel sich überstürzt. Die Amplituden sind hingegen am Cap Flora 0° im Jänner und Juli und sind zugleich mit einem Phasensturz gleicher Art verbunden, während im außerpolaren Gebiete ihre beiden ungleichen Maxima mit stationärem Phasenwinkel und umgekehrter Phase auftreten. Der schönen Symmetrie in den tausendstel Millimetern ist kein Gewicht beizulegen, sie ist eine Folge der Abrundung der »inches« und Umrechnung in Millimetern. Diese merkwürdigen Ergebnisse bedürfen sehr der Bestätigung. Halbjährige Beobachtungen in der Teplitzbai am Nordende von Franz Joseph-Land unter 81° 8 N stimmen nicht überein (Fényi in Met. Zeitschr. 1911, p. 457/58). — Leider besitzen wir keine mehrjährigen stündlichen Beobachtungen in so hohen Breiten, wo zudem die unregelmäßigen Druckschwankungen sehr groß sind.

Jährlicher Gang der Amplituden der dritteltägigen Druckwelle.

	Abweichungen vom Mittel					Die Amplituden selbst				
	27° S	Äquatorial	27° N	47° N	(60° N)	27° S	Äquatorial	27° N	47° N	(60° N)
Jänn.	·015	— ·005*	**·102**	·061	·028	·103	·024*	**·187**	**·123**	**·063**
Febr.	— ·026	— ·004	·047	·021	·011	·062	·025	·132	·083	·046
März	— ·056*	— ·001	— ·022	— ·023	— ·008	·032*	·028	·063	·039	·027
April	— ·036	**·003**	— ·055*	— ·038*	— ·014*	·052	**·032**	·030*	·024*	·021*
Mai	·026	·003	— ·044	— ·027	— ·009	·114	**·032**	·041	·035	·026
Juni	**·077**	·000	— **·020***	— **·010**	— **·003**	**·165**	·029	**·065**	**·052**	**·032**
Juli	·071	— ·001*	— **·020***	— ·013	— ·008	·159	·028*	**·065**	·049	·027
Aug.	·014	·000	— ·045	— ·029	— ·017	·102	·029	·040	·033	·018
Sep.	— ·042	·002	— ·058*	— ·035*	— ·020*	·046	·031	·027*	·027*	·015*
Okt.	— ·050*	**·004**	— ·027	— ·010	— ·006	·038*	**·033**	·058	·052	·029
Nov.	— ·014	·002	·042	·035	·015	·074	·031	·127	·097	·050
Dez.	**·021**	— ·003	**·100**	**·068**	**·031**	**·117**	·026	**·182**	**·130**	**·066**

Die Gleichungen des jährlichen Ganges der Amplitude a_3.

27° südl. Br.	$0\cdot088+0\cdot030 \sin(284\cdot8+x)+0\cdot050 \sin(124\cdot3+2x)$
Äquatorial	$0\cdot029+0\cdot002 \sin(251\cdot1+x)+0\cdot003 \sin(257\cdot0+2x)$
27° nördl. Br.	$0\cdot085+0\cdot063 \sin(102\cdot9+x)+0\cdot047 \sin(119\cdot3+2x)$
47 »	$0\cdot062+0\cdot040 \sin(110\cdot7+x)+0\cdot031 \sin(127\cdot6+2x)$
(60 N)	$0\cdot035+0\cdot018 \sin(101\cdot6+x)+0\cdot014 \sin(133\cdot9+2x)$.

Angot hat in seiner schönen gründlichen Untersuchung, die aber in diesem Teile viel zu schematisch gehalten ist, die jährliche Periode der Amplituden auch berechnet auf Grund von 15 Gruppenmitteln der Amplituden (7 kontinentale Gruppen, 1 von Höhenstationen, 8 maritime Gruppen zwischen 13 und 59° Breite) und findet für die Eintrittszeit der Extreme den 26. Dezember und den 26. Juni, also die Zeit der Solstitien, die Zeit der höchsten und tiefsten Sonnenstände.[1]

J. Fényi vertritt in seiner schon zitierten vortrefflichen Untersuchung über den täglichen Gang des Luftdruckes in Kalocsa (Met. Zeitschr. 1911, p. 459) die Ansicht, »daß die Amplitude der dreifachen Welle zur Zeit der Äquinoktien auf Null herabsinkt, wie es die Beobachtungen nur angenähert ergeben«. Daß dies in den Rechnungsergebnissen nicht eintritt, erklärt Fényi so: »Es müssen nicht nur kleine aperiodische Unregelmäßigkeiten in der Erscheinung und Ungenauigkeiten in der Berechnung in der Regel einen kleinen Rest übriglassen, sondern auch durch die Mittelbildung selbst doch eine kleine Amplitude erhalten werden. Aus den Mittelzahlen eines Monates könnte nur dann durch strenge Rechnung die Amplitude Null erhalten werden, wenn diese den ganzen Monat hindurch Null bleiben würde oder dieser Wert genau auf die Mitte des Monates fiele und in beiden Hälften desselben die Amplitude symmetrisch im entgegengesetzten Sinne anwachsen würde, so daß sich die beiden Hälften gegenseitig aufheben. Die Konstanz des ersteren Falles ist wegen der raschen Änderung der Amplitude nicht

[1] A. Angot, Étude sur la marche diurne du Baromètre. Annales du Bureau Central. Mémoires de 1887, B. 335. Wie schon bemerkt, kann ich Angot in seiner Behandlung der Abhängigkeit der Amplituden von Breite und Jahreszeit nicht folgen, das wesentlichste Element, die Maxima unter den 30. Breitegrad in jeder Hemisphäre ist in seiner Darstellung gar nicht zu finden, die »Gesetze« auf p. 334 treffen wohl nicht den Kern der Sache. Der Einfluß des maritimen Klimas ist bei weitem nicht so ausgesprochen, wie Angot annimmt, wie wir dies noch zeigen werden, eine Reduktion der Amplituden auf das Meeresniveau scheint mir kaum statthaft, wie auch noch gezeigt werden wird.

annehmbar, die Symmetrie der zweiten höchst unwahrscheinlich. Wenn also die Rechnung in der Regel noch eine kleine Amplitude ergibt,[1] so liegt hierin kein Grund, eine Nullepoche der Amplitude abzuweisen.« — Wenn die Amplitude nur durch die Phasenverschiebung bis auf Null herabgesetzt werden würde, so müßte durchaus (wie Fényi speziell nachweist, p. 459/460) in der betreffenden Epoche eine Verschiebung um volle 360° stattfinden. Wir müssen also eine wirkliche Abnahme der Amplitude bis gegen Null in den Äquinoktien annehmen.« (Tabelle p. 16 und 17.)

Einflüsse sekundärer Natur auf die Amplituden und Phasenzeiten der dritteltägigen Druckwelle.

I. Einfluß des Land- und Seeklimas.

Der Einfluß einer Wasser- oder Landbedeckung der Erdoberfläche ist vorhanden wie der Unterschied der extremen Amplituden der Druckwelle auf der südlichen Halbkugel im Sommer und Winter gegenüber jenem auf der nördlichen Halbkugel wohl ersichtlich machen. Im Süden beträgt derselbe bloß ·041 *mm*, auf der nördlichen Halbkugel hingegen ·114 *mm*, also fast dreimal mehr. Das dürfte auf den Einfluß der größeren Wasserbedeckung der südlichen Halbkugel zurückzuführen sein; durch rein solare Verhältnisse ist dieser Unterschied wohl kaum zu erklären. Die Mittelwerte der Amplituden werden davon nicht betroffen. Wir finden unter 30° S eine mittlere Amplitude von etwa ·096 *mm*, unter 30° N etwa ·095 *mm*, jedenfalls nahe den gleichen Wert. Auch die Mittel der Extreme im Sommer und Winter sind die gleichen: südl. Halbkugel $^1/_2$ (Sommer + Winter) = 0·129, nördl. Halbkugel $^1/_2$ (Sommer + Winter) = 126. Also nicht in der mittleren Höhe der Druckwelle, sondern nur in den Extremen, in dem Unterschiede derselben im Winter und Sommer spricht sich der Einfluß einer größeren Wasserbedeckung aus. Die südliche Halbkugel hat unter 30° eine Landbedeckung von 18 Prozent, die nördliche eine solche von 42 Prozent.

Dieser Unterschied erscheint natürlich auch im jährlichen Gange der Amplituden, aber nur in der ganzjährigen Periode derselben, nicht mehr in der halbjährigen.

Gleichungen des jährlichen Ganges der Amplituden.

27° südl. Br. $\cdot 088 + \cdot 030 \sin(285° + x) + \cdot 050 \sin(124° + 2x)$

27 nördl. » $\cdot 085 + \cdot 063 \sin(103 + x) + \cdot 047 \sin(119 + 2x)$.

Die Phasenzeiten bleiben die gleichen (mit Rücksicht auf den umgekehrten Gang der Hauptmaxima: 103 + 180 = 283, also genau umgekehrt), die Amplitude ist aber im Norden doppelt so groß. Die halbjährige Periode ist die gleiche, in Süd wie in Nord, nach Phasenzeit und Amplitude. Das ist bemerkenswert.

Diese Übereinstimmung der Phasenzeiten der dritteltägigen Welle unter allen Breiten trotz verschiedener Landbedeckung und damit verbundenen ganz verschiedenen jährlichen Temperaturgang ist überraschend, die Phasenzeiten der halbtägigen Druckwelle sind nicht so konstant. Unter 60° nördl. Br. beträgt die Landbedeckung 64% und die Jahresschwankung der Temperatur 30°, unter 30° S bloß 18% und die Jahresschwankung der Temperatur nur 7°. Trotzdem ist die jährliche Periode der Amplituden die gleiche. Der Phasenwinkel A_1 beträgt unter 60° N 102°, unter 27° S 105° (reduziert auf die nördliche Halbkugel). Die Amplituden allerdings hier ·030, dort ·018 (Unterschied gering für eine viermal größere Temperaturschwankung); A_2 beträgt unter 60° N 134°, unter 27° S 124°, Unterschied verschwindend klein für eine achtstündige Periode, bei der im zweiten Gliede 90° einer Stunde Zeitunterschied ent-

[1] Ich habe den Nullwert selbst an keiner Station gefunden, wohl aber ziemlich zahlreiche Fälle, wo die Amplitude den Betrag von 0·01 *mm* nicht erreicht hat.

Mittelwerte der Phasenzeiten und der Amplituden für Stationsgruppen nach Breitegraden.[1]

Breite	S 36°1		27°2		27°1		17°9		8°7		3°7 S		N 5°9		16°5 N	
Höhe *m*	110		750		420		171		20		720		542		40	
Zahl der Orte	7		7		5		5		5		6		5		6	
	A_3	a_3	A_3	a_3	A_3	a_3	A_3	a_3	A_3	a_3	A_3	a_3	A_3	a_3	A_3	a_3
Jänn.	174·7	**·108**	175·1	**·120**	176·3	**·129**	175·8	**·082**	158·4	**·057**	138·8	·010	54·0	·041	3·3	**.158**
Febr.	170·0	·061	166·4	·068	167·6	·079	166·2	·059	149·0	·029	159·4	·006*	52·8	·036	7·0	·115
März	42·9	·019*	179·7	·004*	146·3	·011*	347·5	·009*	73·6	·018*	2·1	·019	60·3	·032	16·1	·069
April	14·1	·077	4·8	·083	9·2	·081	4·9	·058	25·1	·035	320·3	**·039**	60·5	·026	94·4	·017*
Mai	4·9	·141	4·1	·138	10·7	·129	4·5	·115	19·6	·059	8·8	·039	87·0	·019*	170·8	·037
Juni	7·2	·143	0·0	·156	5·5	·157	10·2	·130	22·3	**·071**	9·2	·029	110·9	·022	179·0	**·055**
Juli	0·8	**·144**	358·8	**·160**	2·8	**·162**	1·6	**·147**	16·2	·057	9·5	·036	114·4	·024	180·1	·055
Aug.	7·7	·111	354·1	·126	1·1	·131	11·6	·119	29·3	·047	15·8	·031	92·4	·024	184·6	·027
Sept.	26·6	·060	15·6	·078	15·0	·072	29·1	·060	49·9	·050	53·1	**·040**	64·9	·035	2·7	·022*
Okt.	162·3	·009*	122·3	·022*	133·5	·025*	113·2	·015*	98·4	·034	87·3	·021	56·0	·045	10·8	·064
Nov.	176·5	·083	168·0	·082	168·0	·082	176·0	·071	131·4	·023*	162·5	·020*	51·9	**·047**	8·4	·110
Dez.	178·7	**·109**	172·3	**·119**	170·3	·125	182·1	**·093**	154·6	·044	176·6	·025	52·4	·044	6·5	**·142**

Mittel der extremen Jahreszeiten

Nov.—Jänn. Sommer der südlichen, Winter der nördlichen Halbkugel

	A_3	a_3	A_3	a_3	A_3	a_3	A_3	a_3	A_3	a_3	A_3	a_3	A_3	a_3	A_3	a_3
	176·6	·100	171·8	·107	171·5	·112	178·0	·082	148·1	·041	159·3	·018	52·8	·044	6·1	·137

Mai—Juli. Winter der südlichen, Sommer der nördlichen Halbkugel

	A_3	a_3	A_3	a_3	A_3	a_3	A_3	a_3	A_3	a_3	A_3	a_3	A_3	a_3	A_3	a_3
	4·3	·143	1·0	150·1	6·3	·149	5·4	·131	19·4	·062	9·2	·032	104·4	·022	176·1	·049

[1] Diese Mittelwerte sind aus den Mittelwerten der Konstanten p_3 und q_3 berechnet, nicht etwa rohe Mittel der einzelnen A_3 und a_3.

Mittelwerte der Phasenzeiten und der Amplituden für Stationsgruppen nach Breitegraden.

Breite / Höhe / Zahl der Orte	N 23°7 / 36 *m* / 5		32°3 / 20 / 6		38°3 / 64 / 7		42°2 / 108 / 8		45°5 / 134 / 9		50°1 / 180 / 9		53°0 / 124 / 7		58°7 N / 129 / 9	
	A_3	a_3	A_3	a_3	A_3	a_3	A_3	a_3	A_3	a_3	A_3	a_3	A_3	a_3	A_3	a_3
Jänn.	2·0	**·204**	359·4	**·205**	358·4	**·183**	357·6	**·156**	347·4	**·128**	345·6	**·121**	347·7	**·094**	342·9	**·061**
Febr.	2·6	·153	355·8	·149	348·4	·130	347·5	·111	340·6	·100	337·4	·083	341·3	·062	335·0	·050
März	7·4	·086	356·6	·067	352·2	·051	339·7	·053	329·9	·044	327·1	·042	330·5	·031	317·1	·028
April	139·4	·009*	175·9	·014*	139·8	·017*	194·0	·008*	143·1	·010*	0	·013*	140·5	·012*	190·1	·014*
Mai	160·0	·058	178·2	·064	160·3	·045	175·3	·049	152·2	·043	168·6	·047	148·2	·034	153·2	·031
Juni	174·9	·067	177·0	**·086**	167·9	**·067**	167·4	**·059**	146·6	**·053**	155·3	**·055**	137·4	**·038**	142·1	**·032**
Juli	176·8	**·071**	178·5	·075	168·3	·054	159·1	·059	139·6	·052	146·0	·057	137·5	·038	144·2	·028
Aug.	182·4	·048	186·5	·044	174·4	·041	164·8	·036	140·0	·040	153·4	·034	128·5	·022	161·9	·019
Sept.	352·9	·016*	155·2	·014*	358·4	·014*	332·2	·020*	344·1	·014*	356·1	·016*	0·4	·014*	288·4	·009*
Okt.	14·4	·078	12·0	·082	1·7	·058	339·1	·078	350·8	·067	334·6	·063	354·5	·046	339·1	·036
Nov.	12·2	·137	11·2	·144	0·5	·121	360·6	·122	350·8	·107	354·7	·097	356·1	·073	350·6	·049
Dez.	5·5	·200	6·7	·188	356·2	·167	360·2	·148	354·4	·123	352·9	·113	355·9	·084	350·8	**·063**

Mittel der extremen Jahreszeiten

Nov.—Jänn. Winter der nördlichen Halbkuge

6·5	·180	5·8	·179	358·4	·157	359·5	·142	350·8	·119	351·0	·110	353·2	·084	348·1	·058

Mai—Juli. Sommer der nördlichen Halbkugel

170·6	·065	177·9	·075	165·5	·055	167·3	·051	142·1	·049	156·6	·053	141·0	·031	146·5	·030

spricht. Der Unterschied der Amplituden ist allerdings bedeutend (·014 gegen ·050), aber die Phase bleibt konstant unter allen Breiten, das Übergangsgebiet am Äquator ausgenommen, wo der Phasenwechsel zwischen Nord und Süd stattfindet.

Die Vergrößerung des Unterschiedes in der Höhe der Sommer- und Winterwelle findet man auch zwischen ozeanischen Inseln und kontinentalen Orten, aber kaum mehr in den Mittelwerten maritimer und kontinentaler Orte, wie man dies nach Analogie mit anderen rein meteorologischen Erscheinungen erwarten möchte. Dafür sollen einige Nachweise geliefert werden. Leider besitzen wir nur sehr wenige Stationen, durch welche der erstere Satz illustriert werden kann.

Auf der südlichen Halbkugel können wir die kontinentale im östlichen Südafrika gelegene Station Boroma verwenden, deren dritteltägige Luftdruckschwankung wir J. Fényi verdanken. Boroma liegt am Zambesi, 430 *km* von der Küste. Unter gleicher Breite liegt gleichfalls unter 16° südl. Br. die ozeanische Insel St. Helena.

Die Mittelwerte und Extreme der Amplituden sind:

Boroma	kontinental: mittlere Amplitude	·072,	Sommer ·079,	Winter ·122,	Mittel ·100
St. Helena	ozeanisch: » »	·078,	» ·103	» ·108,	» .105.

Auf St. Helena ist der Unterschied Winter—Sommer fast Null, das dürfte doch mehr zufällig sein, zu Boroma ist der Unterschied recht bedeutend, ·043, die Mittel der Extreme sind aber wieder gleich. Der Einfluß der ozeanischen Lage spricht sich demnach nur in der Differenz der Extreme aus, nicht in den mittleren Höhen der dritteltägigen Druckwelle. Samoa ist kaum zu verwenden, es zeigt zu große Unregelmäßigkeiten, dasselbe gilt von Manila unter ziemlich gleicher Breite auf der nördlichen Halbkugel (es fehlt hier das Minimum beim Frühlingsäquinoktium, es tritt dies erst im Mai auf, der sonst überall schon eine maximale Amplitude hat).[1]

Auf der nördlichen Halbkugel kennen wir die dritteltägige Druckschwankung von der ozeanischen Station Ponta Delgada unter 37°8 N. Als kontinentale Stationen in ziemlich gleicher Breite weiß ich keine anderen als Tiflis zu verwenden sowie St. Louis in den Vereinigten Staaten unter 38°6.

Diese drei Orte geben folgende Vergleichsdaten.

	Mittel	Nov.—Jänn.	Mai—Juli	Mittel
Ponta Delgada, ozeanisch	·082	·137	·083	·110
St. Louis, kontinental	·089	·165	·086	·125
Tiflis, kontinental	·089	·157	·066	·111

Trotz sehr verschiedenem jährlichen Temperaturgang unterscheiden sich diese in den mittleren Amplituden nur wenig: P. Delgada ·082, Tiflis ·089; Mittel Dezember—Februar: P. Delgada ·137 Tiflis ·157, dagegen Mai—Juni P. Delgada ·083, Tiflis ·066, also Tiflis extremer. Die höhere Sommertemperatur scheint in Einzelfällen die Sommermaxima doch etwas abzuschwächen.

Die beiden kontinentalen Orte haben etwas extremere Amplituden, aber nicht erheblich mit Rücksicht auf den enormen Unterschied der Jahresschwankung der Temperatur.

Ponta Delgada	Februar	13·9	August	22·0	Differenz	8·1	Jahr	17·3
St. Louis	Jänner	—0·6	Juli	26·2	»	26·8	»	13·2
Tiflis	»	0·2	»	24·5	»	24·3	»	12·7.

Der Einfluß der Temperaturverhältnisse an der Erdoberfläche auf die Amplituden der achtstündigen atmosphärischen ist somit nicht erheblich. Der Unterschied verschwindet fast ganz, wenn

[1] Durch doppelte Rechnung konstatiert.

man nicht bloß die extremst gelegenen Orte miteinander vergleicht, sondern auf dem gewöhnlichen Wege Gruppen von maritimen und kontinentalen Orten bildet, um mehr zufällige Unterschiede zu eliminieren.

Auf diesem Wege habe ich erhalten:

Vergleiche der mittleren maximalen Amplituden unter gleichen Breiten. Voran stehen die kontinentalen Orte, darunter die Küstenorte und Inseln; unter I stehen die mittleren Amplituden Dezember bis Februar, unter II jene von Mai bis Juni; die Amplituden in Tausendstel Millimetern.

Kalkutta und Allahabad	I 202	II 106	St. Louis	I 156	II 86
Hongkong und Taihoku	I 218	II 71	Lissabon	I 163	II 51
Unterschied	— 16	+ 35	Unterschied	— 7	+ 35
Tiflis	I 157	II 66	Bukarest	I 110	II 59
Neapel	I 120	II 54	Pola	I 109	II 50
Unterschied	+ 37	+ 12	Unterschied	+ 1	+ 9
Krakau	I 97	II 29	Nertschinsk	I 108	II 44
Falmouth	I 113	II 60	Valentia	I 99	II 50
Unterschied	— 16	— 31	Unterschied	+ 9	— 6
Warschau und Irkutsk	I 96	II 49	Moskau	I 66	II 34
Utrecht und Potsdam	I 84	II 45	Keitum	I 72	II 41
Unterschied	+ 12	+ 4	Unterschied	— 6	— 7.

Diese Beispiele dürften genügen, zu zeigen, daß trotz zum Teil enormer Unterschiede der Temperaturverhältnisse die Unterschiede der Amplituden sich nicht systematisch und erheblich unterscheiden. Sammeln wir die Unterschiede, so erhalten wir im Mittel. Kontinentale Stationen Dezember—Juli + 0·002 *mm*, Mai—Juli + 0·006 *mm*. Die Unterschiede sind unbedeutend; doch sind Winter- wie Sommeramplituden etwas größer im Landklima.

Ich habe dann noch die Amplituden der folgenden Stationspaare von nahezu gleicher Breite im Land- und Seeklima verglichen: Zi-ka-wei—N. Orleans; St. Louis—Washington; Tiflis—P. Delgada; Bukarest—Pola; Prag—Jersey; Krakau—Falmouth; Irkutsk—Liverpool; Moskau—Keitum. Das Jahresmittel der Amplituden beträgt für die 8 kontinentalen Orte ·076, für die 8 maritimen Orte ·069 *mm*, ist also kontinental um ·007 *mm* größer. Der Unterschied: Wintermaxima weniger Sommermaxima (Mittel der Einzelfälle) beträgt kontinental ·080, maritim ·076, also um ·004 *mm* kleiner. Auch diese Unterschiede sind im Mittel unbedeutend, schwanken aber stark nach den Orten.

Weiter gehend habe ich die Monatsmittel für diese 8 Stationspaare gebildet, um einen mittleren jährlichen Gang der Amplituden im Land- und im Seeklima zu erhalten. Diese Monatsmittel der Amplituden sind:

Jänn.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Kontinentale Orte. Mittlere Breite 40°5 N											
·147	·100	·046	·021*	·051	**·060**	·058	·043	·033*	·064	·109	·132
Maritime Orte. Mittlere Breite 39°9 N											
·145	·101	·046	·019*	·054	**·067**	·060	·041	·016*	·060	·085	·132
Unterschied. Land-, Seeklima											
·002	·001	·000	·002	—·003	—·007	—·002	·002	·017	·004	·024	·000

Nur im September und November erreichen die Unterschiede einen merklichen Betrag, im ganzen ist die Übereinstimmung des jährlichen Ganges der Amplituden im Land- und Seeklima überraschend groß.

Ich habe früher schon folgende Gruppen von Monatsmitteln gebildet, die ich trotz des Vorstehenden doch nicht ganz unterdrücken möchte. Diese Gruppen sind:

1. Kalkutta, Allahabad, Kairo 26°, Hongkong, Taihoku, N. Orleans 26°.
2. St. Louis mit Peking 39°, Ponta Delgada mit Lissabon 38°.
3. Prag und Krakau 50°, Falmouth und Jersey 49·7°.
4. Warschau und Irkutsk 52°, Utrecht und Potsdam 52°.

Diese Gruppenmittel auf Sinusreihen gebracht, liefern folgende Konstante für den ganz- und halbjährigen Gang der Amplituden:

Gruppe	Kontinentales Klima				Maritimes Klima			
	p_1	p_2	q_1	q_2	p_1	p_2	q_1	q_2
I	+ ·038	− ·008	+ ·035	− ·038	+ ·066	− ·011	+ ·053	− ·018
II	+ ·064	− ·015	+ ·044	− ·027	+ ·045	− ·016	+ ·037	− ·027
III	+ ·031	− ·015	+ ·017	− ·012	+ ·035	− ·012	+ ·029	− ·017
IV	+ ·029	− ·009	+ ·025	− ·017	+ ·016	− ·011	+ ·015	− ·017
Mittel	+ ·0405	− ·012	+ ·030	− ·0235	+ ·040	− ·013	+ ·034	− ·020

Diese Konstanten liefern folgende Gleichungen des jährlichen Ganges:

Kontinental $\cdot 042 \sin (106\cdot 5+x)+\cdot 039 \sin (128\cdot 1+2x)$
Maritim $\cdot 042 \sin (108\cdot 0+x)+\cdot 039 \sin (120\cdot 5+2x)$.

Also ein vollkommen übereinstimmender jährlicher Gang der Amplituden. Diese große Übereinstimmung ist wohl doch nur eine mehr zufällige.

Ich habe auch spezielle Differenzen der Monatsmittel gebildet: Bukarest—Pola, Moskau—Keitum, Nertschinsk—Valentia (Irland). Die Mittel dieser Differenzen von November—Februar sind + ·004, Mai—Juli − ·0025 *mm*, also ein unbedeutend extremerer Gang im Kontinentalklima. Die Gleichung dieser Differenzen der Monatsmittel kontinental—maritim ist

$$\cdot 003 \sin (156x+x)+\cdot 004 \sin (241°+2x).$$

Aus diesen Untersuchungen geht hervor, daß die Amplituden der dritteltägigen Luftdruckwelle in ihren Mittelwerten von der Verteilung von Wasser und Land auf der Erdoberfläche nur in sehr geringem Maße beeinflußt werden und daß nur die Unterschiede: Winter- weniger Sommerwelle merkliche Unterschiede zeigen, indem diese im Kontinentalklima ein wenig größer sind.

II. Die Abhängigkeit der Phasenzeiten und Amplituden der dritteltägigen Luftdruckschwankung von der Seehöhe.

Zur Feststellung des Einflusses der Seehöhe auf diese Elemente wurden dieselben zunächst für die Gipfelstationen: Sonnblick, Säntis und Obir, sowie für die entsprechenden Basisstationen: Salzburg, Bern und Klagenfurt berechnet. Die folgende Tabelle enthält in übersichtlicher Anordnung die Haupt-

ergebnisse dieser Berechnung. Zur Ableitung richtiger Mittelwerte der Phasenzeiten wurden die Koeffizienten der einfachen Sinus- und Cosinusreihen benützt (die p_3 und q_3, aus denen erst die Phasenzeiten und Amplituden berechnet werden). Im folgenden werden die Phasenzeiten und Amplituden bloß in Form von Mittelwerten für die beiden Stationsgruppen (hoch und tief) mitgeteilt.

	Hochstationen			Talstationen			Hochstationen			Talstationen		
	Phasenzeiten (die Phasenwinkel A_3)						Amplituden (a_3)					
	Sonnblick 3106	Säntis 2467	Obir 2041	Salzburg 430	Bern 573	Klagenfurt 448	Sonnblick 3106	Säntis 2467	Obir 2041	Salzburg 430	Bern 573	Klagenfurt 448
Jänn.	344	345	327	351	343	365	**·057**	**·077**	**·098**	**·121**	**·130**	**·054**
Febr.	299	335	318	330	340	335	·040	·052	·057	·087	·084	·045
März	267	335	315	330	346	345	·020	·032	·023	·050	·049	·033
April	201	217	195	213	338	181	·012*	·010*	·020*	·013*	·005*	·008*
Mai	142	147	130	164	155	166	·041	·039	·039	·064	·042	**·055**
Juni	144	148	129	140	140	180	**·042**	**·045**	**·043**	**·068**	·054	·046
Juli	142	151	141	137	129	199	·031	·040	·044	·062	**·060**	·053
Aug.	144	(105)	162	173	151	162	·030	·024	·028	·055	·029	·041
Sept.	231	169	302	309	320	289	·012*	·010*	·009*	·029*	·008*	·018*
Okt.	298	349	354	340	348	290	·026	·046	·050	·068	·062	·022
Nov.	323	335	341	350	355	329	·043	·075	·084	**·109**	·099	·051
Dez.	341	355	331	360	351	342	**·049**	**·087**	**·094**	·095	**·126**	**·059**
						Mittel						
Nov. bis Feb.	327	343	339	348	347	343	·047	·073	·083	·103	·110	·053
Mai bis Aug.	141	138	140	153	144	177	·036	·037	·038	·060	·046	·049

Die Umkehrung der Phasenzeiten vom Winter zum Sommer erfolgt, wie man sieht, auf den Gipfeln wie in den Tälern in ganz gleicher Weise. Der Wechsel vollzieht sich im April und im September. Der jährliche Gang der Größe der Amplituden ist fast vollkommen übereinstimmend. In Bezug auf die absoluten Beträge der Amplituden verhalten sich Obir und Klagenfurt im Winter abweichend von den anderen Stationen im Sommer aber kaum mehr. Sonnblick hat zu kleine, Obir zu große, Klagenfurt viel zu kleine Amplituden im Winter. Wie unsere große Tabelle der Amplituden (am Schlusse) zeigt, steht Klagenfurt hierin allein da. Wegen der Umkehrung der Phasenzeiten im Frühling und Herbst haben die gewöhnlichen Jahresmittel keine Bedeutung, man kann aber Mittel für Winter und Sommer bilden und vergleichen: November—Februar und Mai—August, oder vielleicht besser für Dezember—Februar und Juni—August, obgleich der Juni den Charakter des Sommers zumeist besser repräsentiert als der August. Da einem Phasenunterschied von einer Stunde eine Änderung des Phasenwinkels um 45° entspricht, muß die Übereinstimmung der Phasenzeiten für jede der 3 Stationen als sehr groß bezeichnet werden, Winter wie Sommer.

Die jährliche Änderung der Phasenzeiten und Amplituden an den Hochstationen und in der Niederung ersieht man aus der folgenden kleinen Tabelle. Die Mittelwerte sind ganz legitim, nicht aus den Mittelwerten, sondern aus den Sinus- und Cosinuskoeffizienten p_3 und q_3 berechnet. Letztere sind weggelassen, um die Übersicht nicht zu stören.

	Jänn.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Hoch	334·8	318·4	313·1	201·0	140·2	140·7	144·6	154·4	231·3	341·6	342·4	342·3
Tief	346·0	335·2	325·1	211·0	162·6	150·5	153·4	164·6	303·6	336·7	347·8	348·3

Der jährliche Gang ist vollkommen übereinstimmend, auch die absoluten Werte zeigen relativ geringe Unterschiede ($1° = 60\,m : 45 = 1·33$ Minuten Zeitdifferenz).

Im Mittel der vier Wintermonate hat man: Hochstationen $A_3 = 331·8$, Niederung $A_3 = 343·2$, Unterschied 11°4, gleich rund $^1/_4$ Stunde. Die Phasenzeiten verspäten sich also für etwa 2000 *m* Höhenunterschied (oben) um $^1/_4$ Stunde.

Die Sommermonate geben: Hochstationen 146·6, Niederung 156·2, Unterschied ist 9·6 oder rund 13 Minuten Zeitunterschied, mit Rücksicht auf die Fehlergrenzen übereinstimmend mit dem Ergebnis für den Winter. Man kann also im Mittel mit ziemlicher Annäherung eine Phasendifferenz von 10°5 oder 14 Minuten Verspätung der Phasenzeiten annehmen für 2000 *m* Höhenunterschied.

Diese Verspätung ist beiläufig dieselbe wie jene für die Phasenzeiten der doppelten täglichen Luftdruckschwankung, wobei zu berücksichtigen ist, daß bei dieser 30° Phasendifferenz einer Stunde Zeitunterschied gleichkommt. Der Phasenunterschied der halbtägigen Druckschwankung beträgt für Obir—Klagenfurt ($\Delta h = 1600\,m$) im Winter 17·2, im Sommer 16·7, im Mittel also rund 17°, also etwas mehr als 10° pro 1000 *m* gegenüber 5° bei der dritteltägigen; für Sonnblick-Salzburg ($\Delta h = 2700\,m$) im Winter 36·6, Sommer 35·1, Mittel 35·8, das ist allerdings 13° pro 1000 *m*. Dies sind aber nur beiläufige rohe Vergleiche, bei denen bloß das eine feststeht, daß die Verspätung der Phasenzeiten im Winter und Sommer die gleiche ist.

Ein Vergleich der Amplituden der dritteltägigen Luftdruckschwankung oben und unten zeigt folgendes:

Jährliche Änderung der Amplituden der dritteltägigen Luftdruckschwankung.

Höhe	Jänn.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
2540 *m*	**·077**	·048	·022	·014*	·039	**·043**	·038	·028	·006*	·038	·066	**·076**
485	**·103**	·072	·040	·006*	·053	**·053**	·054	·042	·018*	·048	·085	**·094**

Der Gang ist, wie zu erwarten, oben und unten ganz der gleiche. Die Amplituden nehmen, wie man sieht, mit der Höhe ab.

Zur Berechnung der Abnahme dienen am besten die folgenden Mittelwerte.

Hochstationen	Nov., Dez., Jänn. ·073,	Mai, Juni, Juli ·040
Talstationen	» » » ·094,	» » » ·053
Verhältnis	73 : 94 = 0·78	40 : 53 = 0·76.

Der mittlere Luftdruck an den 3 Hochstationen beträgt 580 *mm*, jene der 3 Talstationen 720 *mm* das Verhältnis ist also 0·80, das heißt, die Amplituden nehmen etwas rascher ab als der Luftdruck. Die Rechnung mit Mittelwerten läßt aber auch keine genaueren Resultate erwarten.

Nach diesem Ergebnis wäre es erlaubt, die Amplituden mit Rücksicht auf die Abnahme des Luftdruckes mit der Höhe auf das Meeresniveau zu reduzieren.

Andere Stationen geben aber Resultate, die weniger günstig für diese Annahme sind.

In meiner Abhandlung: Weitere Beiträge zu den Grundlagen für eine Theorie der tägliche Oszillation des Barometers, Sitzber. CVII, Jänn. 1898, p. 125, finden sich die Ergebnisse zweijähriger gleichzeitiger stündlicher Aufzeichnungen des Luftdruckes auf Pikes Peak in Colorado in 4308 *m*,

38° 50′ N, Luftdruck 451 *mm* und nahe an dessen Fuße zu Colorado Springs in 1856 *m* 38° 51′ N, Luftdruck 610 *mm*.

Diese Aufzeichnungen liefern für Winter (Dezember—Februar) und Sommer (Juli—August) folgende Werte für die dritteltägige Luftdruckweile:

Pikes Peak Winter $A_3 = 15°5$, $a_3 = \cdot 093$: Sommer $A_3 = 186\cdot 4$, $a_3 = \cdot 040$
Colorado Springs » $A_3 = 2\cdot 4$, $a_3 = \cdot 230$; » $A_3 = 184\cdot 0$, $a_3 = \cdot 104$.

Die Umkehrung der Phasenzeiten vom Winter zum Sommer erfolgt demnach noch in 4300 *m* Seehöhe ganz regelmäßig (wie unten, dort noch genauer). Im Winter beträgt der Phasenunterschied oben gegen unten + 13° nahe gleich 0·3 Stunden oder 18 Minuten, um welchen Betrag die Phasen oben früher eintreten als unten, ein unerwartetes Resultat; im Sommer besteht keine Phasendifferenz. Im allgemeinen kann man also annehmen, daß die Phasenzeiten oben und unten die gleichen sind.

Die Amplituden zeigen aber eine sehr starke Abnahme mit der Höhe; das Verhältnis ist: Winter 0·40, Sommer 0·38, das Verhältnis $b:B$ beträgt 0·74. Die Amplituden nehmen also zu rasch ab mit der zunehmenden Höhe. Die Reduktion auf das Meeresniveau der Amplituden a_3 von Pikes Peak ergibt aber Winter 0·157, Sommer 0·067, Colorado Springs, Winter 0·286, Sommer 0·129. Da die Breite von Pikes Peak und Colorado Springs rund 40° N ist, wo im Mittel die Winteramplitude 0·148, im Sommer 0·056 beträgt, so scheinen die Amplitude von Pikes Peak ziemlich normal zu sein, dagegen jene von Colorado Springs erheblich zu groß. St. Louis in etwas niedrigerer Breite hat Winter 0·152, Sommer ·087. Die Winteramplitude von Pikes Peak stimmt mit St. Louis, die Sommeramplitude ist etwas zu klein. Die Amplituden von Colorado Springs sind Winter und Sommer viel zu groß. Pikes Peak stimmt demnach ziemlich mit den Stationen in den Alpen.

Ich habe diese Verhältnisse noch einer weiteren Prüfung unterzogen mittels der Beobachtungsergebnisse einiger indischer Höhenstationen. Dazu eignen sich jene der Stationen Trevandrum und Agustia Pik in Südindien und jene von Roorkee am Fuße des Himalaya mit den Himalayastationen Leh und Simla.

Agustia Pik	8°37 N	77°20 E	1890 *m*	Luftdruck	612 *mm*
Trevandrum	8·31 N	76·59 E	59	»	755

Konstanten der dritteltägigen Periode.

	November—Februar				Mai—August			
	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3
Agustia	·011	.033	18·8	·036	—·020	—·021	223·8	·029
Trevandrum	·029	·080	20·2	·085	—·009	—·015	215·8	·019

Die Phasenzeiten stimmen hier oben und unten überein, die Amplituden nehmen nur im Winter (NE-Monsun) mit der Höhe ab, im Sommer (SW Monsum, Regenzeit) nicht. Es ist aber hierzu zu bemerken, daß die dritteltägige Luftdruckschwankung in der Nähe des Äquators unregelmäßig wird und kleinere Amplituden hat als in den mittleren Breiten. Man kann demnach diesem Vergleich bloß entnehmen, daß die Umkehrung der Phasenzeiten vom Winter zum Sommer oben und unten regelmäßig erfolgt.[1]

[1] Indian Meteorological Memoirs, Vol. X. u. Met. Z. 1906, p. 137.

Die Himalayastationen sind: Roorkee nahe dem Fuße des H. im Duab (Ebene zwischen Ganges und Indus) 29° 52′ N, 77° 56′ E, 270 *m*; Leh im breiten Tale des oberen Indus 34° 2′ N, 77° 42′ E, 3506 *m*; Simla auf einem Höhenrücken vor den Hauptketten 31° 6′ N, 77° 11′ E, 2282 *m*.

Roorkee Dez.—Febr. $A_3 = 349 \cdot 5$ $a_3 = 0 \cdot 134$ Juni—August A_3 $175 \cdot 3$ $a_3 = \cdot 058$

Leh » $A_3 = 353 \cdot 4$ $a_3 = 0 \cdot 147$ » A_3 $13 \cdot 0$ $a_3 = \cdot 047$.

Hier zeigt sich keine Gesetzmäßigkeit der Änderung der Elemente mit der Höhe. Der August weicht aber in Leh wie in Roorkee schon erheblich vom Juni und Juli ab. Nehmen wir deshalb nur je 2 Monate, Dezember—Jänner und Juni—Juli, so erhalten wir folgende Vergleichsdaten:

	Dezember—Jänner		Juni—Juli	
	A_3	a_3	A_3	a_3
Roorkee	348·7	0·163	172·5	0·109
Simla	346·7	0·146	165·4	0·061
Leh	353·4	0·167	43·1	0·041

Die Phasenzeiten zeigen zwischen Roorkee und Simla eine geringe Abnahme nach oben, also eine Verspätung mit der Höhe. Leh in einem großen Hochtal verhält sich ganz abweichend. Die Amplituden nehmen nur in den Sommermonaten Juni—Juli mit der Höhe ziemlich regelmäßig ab. Hier in den Tropen verläßt uns also, wenigstens scheinbar, eine gesetzmäßige Änderung der Phasenzeiten und Amplituden mit der Höhe, die wir in mittleren Breiten gefunden haben. Die Amplituden der halbtägigen Luftdruckschwankung zeigen hingegen auch in den Tropen die regelmäßige Abnahme im Verhältnis zur Abnahme des Luftdruckes.

III. Der Einfluß heiterer und trüber Tage auf die Phasenzeiten und Amplituden der dritteltägigen Luftdruckschwankung.

Zur Darlegung dieses Einflusses habe ich die in meiner Abhandlung: Der tägliche Gang des Barometers an heiteren und trüben Tagen (Sitzb. CIV, Juni 1895, p. 505 bis 564) mitgeteilten Stundenmittel des Luftdruckes im Sommer an den Stationen: F. William (am Fuße des Ben Nevis, Schottland), Hamburg, München, Zürich, Klagenfurt und Triest benützt, die Daten für die Gipfelstationen aber weggelassen. An zitierter Stelle berechnete ich die ganztägige und die halbtägige Druckwelle. Hier wird die Berechnung der dritteltägigen Welle nachgetragen.

Die Ergebnisse finden sich in der umstehenden kleinen Tabelle (p. 25).

In bezug auf die Phasenzeiten besteht eine volle Übereinstimmung, an trüben Tagen findet eine Verspätung des Eintrittes derselben statt, die Änderung der Amplituden zeigt sich aber nach den Örtlichkeiten verschieden. Es ist hierzu zu bemerken, daß diese Resultate nur für den Sommer gelten, Mai—August.

Die Mittelwerte, aus den p_3 und q_3 berechnet, sind:

Heiter $p_3 = \cdot 024, q_3 = -\cdot 0324$, somit $A_3 = 143°5$, $a_3 = \cdot 040$ *mm*

Trüb $p_3 = \cdot 034, q_3 = -\cdot 0055$, somit $A_3 = 99 \cdot 2$, $a_3 = \cdot 0344$ *mm*.

Mittlere Differenz der Phasenwinkel 44°3, somit in Zeit einer Verspätung um rund 1 Stunde an trüben Tagen entsprechend.

Die Amplituden sind bei trübem Wetter etwas kleiner, um etwa ·006 *mm*.

In meiner früher zitierten Abhandlung aus dem Jahre 1895 wird gezeigt, daß an den gleichen Orten die halbtägige Luftdruckschwankung von der Bewölkung fast völlig unabhängig sich herausstellt.

	p_3	q_3	A_3	a_3		p_3	q_3	A_3	a_3
		F. William					Zürich		
Heiter	·017	—·0475	160·3	·050	Heiter	·032	—·041	142·2	·052
Trüb	·049	—·038	127·8	·062	Trüb	·032	—·005	98·9	·032
		Hamburg					Klagenfurt		
Heiter	·022	—·032	145·5	·039	Heiter	·034	—·036	136·6	·049
Trüb	·033	—·018	118·6	·037	Trüb	·008	—·020	21·8	·022
		München					Triest		
Heiter	·029	—·031	160·9	·042	Heiter	·011	—·009	129·3	·014
Trüb	·053	—·013	103·8	·055	Trüb	·028	—·021	53·1	·035

Differenz: heiter—trüb.

	William	Hamburg	München	Zürich	Klagenfurt	Triest
Phasenzeit	32°5	26°9	57°1	43°3	114°8	76°2
Amplitude	—·012	·002	—·013	·020	·027	—·021

A_2 heiter 140·9, trüb 134·1, Differenz 6°8 gleich 13 Minuten Verspätung an trüben Tagen; die Mittel der Amplituden sind: heiter 0·224 *mm*, trüb 0·244, ein an sich unwahrscheinliches Resultat, das durch die abnormen Werte zu Triest (heiter ·251, trüb ·342) veranlaßt wird, es sind ja gerade in Triest im Sommer die ganz trüben Tage selten, die Amplitude a_2 ist demnach kaum vergleichbar. Ohne Triest erhält man a_2 heiter = 0·217, trüb = 0·219 also gleich (halbtägige Schwankung). Der bekannte große Einfluß der Bewölkung auf die Elemente der ganztägigen Luftdruckschwankung tritt dagegen in den folgenden Mittelwerten, aus den Beobachtungen an den gleichen Orten abgeleitet, sehr klar hervor:

Ganztägige Luftdruckschwankung: heiter A_3 = 352·2; trüb 101·4 (!). Eintritt des Maximums heiter $6^1/_2{}^h$ morgens, trüb 11^h nachts, Differenz 17 Stunden.

Nach Abschluß dieser Rechnung kam mir erst wieder die Berechnung des täglichen Ganges des Luftdruckes an heiteren und an trüben Tagen (in Abweichungen der Stundenmittel vom Tagesmittel) in den 12 Monaten zu San José (Costa Rica) und zu Magdeburg zu Gesicht (Buchan, Report. Ben Nevis Met. Observ. British Ass. Ypswich, Sept. 1895, p. 193). Ich berechnete hiernach die dritteltägige Luftdruckschwankung in den Monaten November und Dezember, Jänner und Februar, dann Mai, Juni, Juli und August zu Magdeburg; die gleiche Berechnung für San José hielt ich für überflüssig, da in dieser niedrigen Breite die dritteltägige Schwankung recht unregelmäßig ist und die trüben Tage fast fehlen. Die Ergebnisse meiner Berechnung für Magdeburg 52° 9′ N sind in Kürze folgende:

Magdeburg: I. Nov.—Dez. heiter ·094 sin (343·5 + $3x$), Jänn.—Febr. heiter ·092 sin (342·3 + $3x$)
» » trüb ·079 sin (6·7 + $3x$), » » trüb ·057 sin (347·2 + $3x$).

Somit Wintermittel[1] heiter ·093 sin (342·9+$3x$)
trüb ·069 sin (346·2+$3x$).

1 Berechnet aus der p_3 und q_3.

Also keine Verspätung der Phasenzeiten, aber Verminderung der Amplitude.

II. Heiter Mai—Juni ·061 sin (158·3+3x), Juli—Aug. ·044 sin (157·9+3x)

trüb » » ·051 sin (162·9+3x), » » ·048 sin (119·9+3x).

Somit Sommermittel heiter ·053 sin (158·1+3x), trüb ·047 sin (142·9+3x).

Somit bei trübem Wetter eine geringe Abnahme der Amplituden und kleine Verspätung der Phasenzeiten. Wegen der geringen Anzahl der Tage, die namentlich im Sommer den Werten zugrunde liegen, bleiben diese Resultate ziemlich unsicher. So klar liegen die Verhältnisse hier nicht wie bei der halbtägigen Druckschwankung. Aber so viel steht fest: heiteres und trübes Wetter haben auf die Phasenzeiten und Amplituden der dritteltägigen Luftdruckschwankung einen viel geringeren Einfluß als auf jene der ganztägigen Druckschwankung. Die achtstündige Luftdruckschwankung ist viel weniger von der Witterung abhängig als diese.

Übersicht der Resultate.

Aus den vorstehenden Untersuchungen ergibt sich, daß die dritteltägige atmosphärische Luftdruckschwankung eine selbständige Existenz hat, so wie die halbtägige, daß sie nicht etwa ein bloßes Korrektionsglied der analytischen Darstellung der komplexen täglichen Luftdruckschwankung ist. Sie verläuft so regelmäßig wie die halbtägige Luftdruckschwankung, deren physikalische Existenz nicht mehr bezweifelt wird. Ihre Amplituden und Phasenzeiten tragen einen allgemeinen, terrestrischen Charakter, in strenger Abhängigkeit von der geographischen Breite. Der Einfluß der Wasser- und Landverteilung auf jeder Hemisphäre ist gering und verschwindet fast gegen den der geographischen Breite.

Die markantesten Erscheinungen der dritteltägigen Luftdruckschwankung sind:

1. Die Umkehrung ihrer Phasenzeiten beim Übertritt von einer Hemisphäre in die andere. Diese Umkehrung bleibt unverändert bestehen in allen Breiten und auch bis zu 4 *km* Seehöhe (also so weit die Beobachtungen reichen können). 2. Die Maxima der Amplituden findet man auf beiden Halbkugeln streng ausgesprochen unter dem 30. Breitegrad, also gerade in der Mitte jeder Hemisphäre. Von da nehmen die Amplituden regelmäßig gegen den Äquator und gegen die Pole hin ab, wo sie zu verschwinden scheinen. Daß sie am Äquator nur ein Minimum erreichen und nicht ganz verschwinden, liegt wohl darin, daß der Parallel, wo die Phasenzeiten sich umkehren, im Jahreslaufe nicht immer derselbe bleibt. 3. Die Maxima der Phasenzeiten treten in jeder Hemisphäre im Winter und im Sommer ein, die Wintermaxima (besser vielleicht die Maxima der kälteren Jahreszeit) sind größer als die des Sommers (der warmen Jahreszeit). Die Minima treten zu den Äquinoktien ein im März—April und September—Oktober, wo sie nahe auf Null herabgehen (vielleicht wirklich auf Null herabgehen würden, wenn nicht zeitliche Verschiebungen des Eintrittes derselben stattfinden würden). Sehr bemerkenswert ist, daß die Wintermaxima der Amplituden auf der nördlichen Halbkugel größer sind als auf der südlichen, während wieder umgekehrt die Sommermaxima der nördlichen Halbkugel kleiner sind als die der südlichen Halbkugel, so daß also auf der nördlichen Halbkugel der Unterschied der Winter- und Sommeramplituden viel größer ist als auf der südlichen. Die Mittelwerte aus den extremen Amplituden bleiben dabei die gleichen. Nimmt man die mittleren Ordinaten der Jahreskurve der Änderungen der Amplituden, unter 30° Breite, wo sie ihr Maximum erreichen, so sind selbe auf der nördlichen und südlichen Halbkugel die gleichen. Sie betragen daselbst im Süden wie im Norden rund 0·095 *mm*. 4. Die jährliche Periode bleibt unter allen Breiten auf der südlichen wie auf der nördlichen Halbkugel genau die gleiche bis zu 60° n. Br. wenigstens. Natürlich ist wegen der Umkehrung der Phasenzeiten beim Überschreiten des Äquators die Jahreskurve auf der südlichen Halbkugel die umgekehrte von jener auf der nördlichen Halbkugel. Die Amplitude der ganzjährigen Periode ist im Norden unter gleicher Breite viel größer als auf der südlichen Halbkugel, aber die Phasenzeit bleibt die gleiche, bis auf den Unterschied von 180°. In Bezug auf die halbjährige Periode der Amplituden bleiben Phasenzeit und Amplitude im Norden und Süden die gleichen. Diese Unabhängigkeit des jährlichen Ganges der Amplituden der dritteltägigen Druckschwankung von dem so verschiedenen Temperaturgang in den verschiedenen Breiten im Norden wie im Süden ist höchst bemerkenswert.

Zusammenstellung der Amplituden und Phasenzeiten der dritteltägigen Luftdruckschwankung.

A. Die Amplituden (a_3) der dritteltägigen Luftdruckschwankung.

Ort und Breite		Jänn.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
A. Südliche Halbkugel.													
Hobarton	42·9	·062	·069	·031*	·086	·139	**·142**	·123	·117	·092	·002*	·080	**·076**
Melbourne	37·8	**·137**	·060	·052*	·060	·111	**·148**	·145	·103	·042	·020*	·081	·095
Capstadt	34·9	·110	·047*	·069*	·103	·172	**·162**	·158	·122	·058	·047*	·081	**·118**
Monte Video	34·9	·110	·089	·035*	·079	·134	**·143**	·138	·114	·054	·046*	·086	**·124**
Buenos Aires	34·6	·105	·087	·030*	·070	·129	·126	**·143**	·095	·061	·018*	·068	**·117**
Sydney	33·9	**·106**	·044	·035*	·092	**·183**	·134	·160	·144	·083	·013*	·074	·083
Santiago (Chile)	33·5	·163	·090	·026*	·054	·133	**·160**	·141	·103	·041	·044*	·127	**·182**
Rosario	32·1	·134	·096	·020*	·102	·141	·169	**·178**	·134	·084	·045*	·105	**·148**
Cordoba	31·4	·174	·105	·026*	·069	·122	**·179**	·176	·136	·048*	·058	·141	**·189**
Kimberley	28·7	·091	·033	·030*	·096	·150	·150	**·160**	·122	·102	·025*	·074	**·107**
Johannesburg	26·2	·108	·047	·026*	·086	·152	**·171**	·157	·130	·071	·012*	·094	**·104**
Curityba	25·4	·115	·086	·014*	·079	·141	**·163**	·162	·140	·085	·025*	·069	**·117**
São Paulo	23·4	**·084**	·034	·027*	·104	·136	·140	**·159**	·127	·078	·034*	·030	·054
Mangarewa	23·4	**·147**	·081	·028*	·068	·126	·144	**·147**	·119	·081	·041*	·097	·123
Rio de Janeiro	22·0	**·068**	·060	·044*	·110	·157	·113	**·184**	·160	·093	·060*	·070	·052
Mauritius	20·1	**·097**	·037*	·046	·096	·134	·150	**·159**	·128	·071	·020*	·057	·079
Mollendo	17·1	**·113**	·105	·047*	·067	·141	**·159**	·152	·100	·051	·032*	·102	·137
Arequipa	16·4	·047	·037	·031*	·105	·112	·141	**·146**	·128	·109	·059	·028*	**·048**
Boroma	16·0	·069	·069	·006*	·029	·091	**·125**	·116	·126	·061	·000*	·068	**·098**
St. Helena	15·9	·102	·075	·023*	·039	·088	·109	**·128**	·086	·040*	·040	·086	**·122**
Samoa	13·8	**·108**	·072	·084	·067*	·106	**·112**	·090	·064*	·100	·074	·100	·091
S. Paulo de Loanda	8·8	**·075**	·039	·028	·012*	·050	**·074**	·060	·047	·030	·030*	·050	·058
Ascension	7·9	**·075**	·038	·044	·017*	·036	**·064**	·040	·021	·025*	·043	·007	·058
Daressalam	6·8	·034	·021*	·031	·047	·041	·043	·047	·047	·053	**·074**	·028*	·039*
Batavia	6·2	·010	·006*	·052	·073	**·092**	·067	·065	·059	·049	·034	·023	·005
Quixeramobim	5·3	·081	·046	·009*	·015	·042	·048	·047	·046	·047	·072	·083	**·108**
Tabora	5·0	·041	·020	·042	·020	·022	·030	·036	·037	**·047**	·005*	·008	·019
Kwai	4·8	·025	·027	·014*	·055	·039	·035	·056	·031	**·058**	·027	·010*	·042
Noronha	3·8	·028*	·029	·051	·065	**·075**	·050	·051	·046	**·064**	·050	·040	**·067**
Ukerewe	2·0	·023	·025	·017	**·050**	·027	·020	·031	·013	·028	·015	·030	·009*
Pará	1·5	·018*	·023	·053	**·122**	·064	·022	·017*	·018	·027	·045	**·047**	·030
Quito	0·2	·034	·024	·012*	·039	**·047**	·023	·027	·029	·021*	·027	**·032**	·021
B. Nördliche Halbkugel.													
Singapore	1·3	·059	·048	·037*	·055	·055	·042	**·066**	·042	·046	·051	·056	·063
Trevandrum	8·5	**·090**	·080	·049	·028	·015*	·025	·025	·012*	·022	·050	·077	·086
Alhajuela	9·2	·065	·066	·077	·068	·053	**·093**	·073	·091	**·113**	·095	·095	·071
San José C. R.	9·9	·032	·024	**·043**	·031	·021	·005*	·015	·018	·027	**·048**	·047	·037
Aden	12·8	**·140**	·094	·103	·051	·040*	**·111**	·097	·092	·009*	·073	**·099**	·098
Madras	13·1	**·099**	·069	·052*	·067	**·084**	·036	·074	·069	·040	·016*	**·078**	·036

Ort und Breite		Jänn.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Manila	14·6	**·148**	·105	·063	·026	·006*	**·041**	·036	·022	·044	·070	·093	·122
Port au Prince	18·6	**·190**	·123	·068	·020*	·040	**·051**	·015	·006*	·051	·066	·132	·166
Bombay	18·9	**·168**	·127	·061	·020*	·043	**·094**	·071	·033	·018*	·081	·124	·155
Mexico	19·4	·086	·075	·017*	·057	·089	**·097**	·067	·052*	·073	·064	·078	**·104**
Tonkin	20·8	**·222**	·180	·088	·050*	·028*	·043	**·055**	·017*	·041	·093	·155	·210
Hongkong	22·3	·233	·165	·101	·033*	·043	·085	**·088**	·072	·020*	·071	·146	**·253**
Kalkutta	22·5	**·212**	·149	·068	·051*	·115	·065	**·068**	·033*	·048	·092	·167	·208
Habana	23·1	**·141**	·135	·096	·034	·009*	·024	**·028**	·014*	·044	·068	·112	**·142**
Taihoku	25·0	**·245**	·215	·104	·025*	·061	·068	**·080**	·064	·030*	·096	·143	·195
Allahabad	25·4	·198	·112	·081	·030*	·172	·086	**·127**	·112	·036*	·084	·193	**·206**
Neu Orleans	30·0	**·191**	·132	·049	·019*	·076	**·091**	·082	·060	·019*	·054	·102	·144
Kairo	30·1	**·151**	·143	·041*	·067	·121	**·148**	·124	·094	·036*	·064	·123	·140
Zi-ka-wei	31·2	**·235**	·176	·087	·025*	·050	**·092**	·074	·041	·040*	·108	·168	·215
Kumamotu	32·8	**·203**	·142	·082	·011*	·049	**·061**	·052	·021*	·030	·084	·142	·201
Osaka	34·7	**·225**	·143	·069	·006*	·049	**·071**	·065	·040	·027*	·087	·155	·206
Nagoya	35·2	**·226**	·164	·088	·003*	·050	·058	**·066**	·036	·026*	·108	·178	·223
S. Fernando	36·5	**·171**	·132	·028	·032*	·074	·084	**·096**	·068	·005*	·063	·103	·152
P. Delgada	37·7	**·178**	·102	·056	·034*	·074	**·105**	·069	·052	·019*	·064	·101	·131
S. Francisco	37·8	**·157**	·101	·071	·034*	·059	**·091**	·080	·059	·008*	·041	·080	·130
St. Louis	38·6	**·182**	·123	·058	·030*	·082	**·101**	·076	·085	·066	·013*	·151	·163
Lissabon	38·7	**·182**	·139	·006*	·017	·039	**·062**	·051	·043	·029*	·086	·144	·168
Washington	38·9	**·204**	·169	·081	·015*	·062	**·068**	·049	·033	·022*	·071	·127	**·206**
Peking	39·9	·224	·176	·081	·018	·005*	**·091**	·066	·030	·017*	·088	·156	**·230**
Neapel	40·9	**·132**	·109	·050	·007*	·046	**·060**	·057	·037	·010*	·090	·093	·120
Tiflis	41·7	**·181**	·119	·066	·018*	·048	·066	**·084**	·058	·038*	·082	·132	·171
Coimbra	40·2	**·184**	·130	·078	·003*	·033	**·043**	·038	·009*	·076	·100	·134	·169
Hakodate	41·6	**·182**	·134	·050	·009*	·049	**·067**	·055	·046	·021*	·086	·153	·180
Albany	42·6	**·170**	·106	·075	·004*	·055	·051	**·064**	·043	·005*	·053	·123	·149
Lesina	43·1	·123	·081	·040	·017*	·055	·070	**·072**	·039	·015*	·072	·090	**·127**
St. Martin de Hinx	43·6	·131	·097	·032*	·043	·067	·071	·070	·038	·025*	·085	·128	**·140**
Nemuro	43·6	**·163**	·117	·053	·010*	·054	**·064**	·061	·046	·012*	·066	·137	·150
Bukarest	44·4	**·121**	·093	·024	·020*	·062	**·064**	·052	·051	·007*	·071	·104	·115
Pola	44·9	**·125**	·094	·040	·022*	·043	·052	**·056**	·041	·013*	·067	·089	·107
Lyon	45·8	**·149**	·101	·057	·010*	·047	·062	**·076**	·048	·032*	·076	·132	**·153**
Turin	45·1	**·145**	·109	·052	·028*	·039	**·068**	·061	·033	·016*	·061	·110	·142
Triest	45·7	**·098**	·089	·039	·011*	·038	**·038**	·028	·023*	·035	·059	·098	·097
Kalocsa	46·5	**·124**	·077	·035	·011*	·038	·039	**·045**	·034	·028*	·077	·102	·118
Ogyalla	47·9	**·099**	·076	·053	·007*	·038	**·051**	·046	·038	·015*	·073	·095	·098
Belgrad	44·8	**·136**	·103	·066	·010*	·040	·043	**·046**	·033	·027*	·063	·128	·130
Minnesota	44·8	**·166**	·095	·064	·016*	·053	·071	**·071**	·061	·017*	·068	·114	·159
Jersey	49·2	**·132**	·091	·035	·016*	·054	·062	**·073**	·031	·013*	·070	·114	·123
Paris	48·8	**·137**	·098	·055	·010*	·062	**·073**	·075	·038	·017*	·082	·109	·132
Wien	48·3	·110	·081	·038	·013*	·053	**·079**	·060	·041	·011*	·070	·103	**·133**
Falmouth	50·1	**·138**	·086	·042	·015*	·049	**·068**	·063	·043	·013*	·061	·091	·115
Prag	50·1	**·106**	·072	·043	·018*	·050	·052	**·063**	·043	·032*	·056	·074	**·106**
Krakau	50·1	**·124**	·070	·050	·012*	·027	**·030**	·029	·017*	·046	·061	·107	·097
Valentia	51·9	**·111**	·074	·032	·021*	·048	**·051**	·052	·030	·010*	·045	·091	**·111**

Ort und Breite		Jänn.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Kew	51·5	**·124**	·085	·057	·010*	·059	·066	**·075**	·047	·001*	·058	·084	·104
Nertschinsk	51·3	**·112**	·098	·043	·016*	·048	·039	**·044**	·020	·010*	·083	·103	**·113**
Utrecht	52·1	**·076**	·040	·040	·024*	·033	·039	**·056**	·039	·022*	·042	·073	**·082**
Potsdam	52·4	·107	·086	·049	·019*	·046	**·051**	·044	·021*	·025	·056	·014	**·113**
Warschau	52·2	**·098**	·050	·028	·019*	·038	**·054**	·049	·026	·024*	·037	·070	·081
Liverpool	53·4	**·104**	·074	·036	·007*	·041	**·043**	·040	·030	·020*	·062	·078	·089
Barnaul	53·3	·063	·028	·021	·005	·017	·003	·007	·011	·026	·040	·056	·(046)
Irkutsk	52·3	**·145**	·103	·026	·023*	·047	·049	**·056**	·030	·016*	·074	·076	·122
Keitum	54·9	**·086**	·060	·033	·023*	·034	·043	**·045**	·036	·009*	·029	·057	·070
Moskau	55·8	**·082**	·046	·018*	·024	**·046**	·026	·030	·020*	·020	·049	·064	·071
Katherinenburg	56·8	**·054**	·038	·028	·026*	·039	**·042**	·040	·030	·010*	·036	·042	**·060**
Sitka	57·1	·037	·037	·027	·036	·025	·022	·032	·021	·021	·015	·(113)	·(051)
Aberdeen	57·2	**·085**	·071	·041	·017*	·045	·061	**·071**	·038	·013*	·048	·064	·074
Petersburg	59·9	**·056**	·055	·028	·018*	·020	**·031**	·016	·020*	·020	·049	·042	**·056**
Kristiania	59·9	**·080**	·066	·024	·002*	·038	**·048**	·031	·019	·014*	·044	·069	·079
Dovre	62·1	**·055**	·042	·027	·004*	·024	·029	**·035**	·017	·018*	·043	·054	·053

B. Die Phasenkonstante (A_3) der dritteltägigen Barometerschwankung.

A. Südliche Halbkugel.

Ort und Breite		Jänn.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Hobarton	42·9	157	177	6	6	— 7	10	5	20	26	172	159	169
Melbourne	37·8	178	197	145	2	— 5[1]	— 4	4	— 2	19	201	174	190
Capstadt	34·9	171	149	13	22	— 2	1	— 3	1	15	156	177	174
Sydney	33·8	167	162	4	13	— 2	8	— 4	11	30	11	171	191
Monte Video	34·9	142	123	79	20	5	— 1	2	— 2	39	119	155	153
Buenos Aires	34·6	181	151	69	9	7	14	— 2	— 2	9	276	183	170
Santiago (Chile)	33·5	185	201	239	14	31	22	5	24	51	201	206	197
Rosario	32·1	178	169	188	17	28	18	15	6	13	131	226	171
Cordoba	31·4	161	153	159	9	— 10	— 7	— 8	— 8	0	182	177	168
Kimberley	28·7	173	161	— 2	0	— 11	— 16	— 11	— 12	14	83	172	174
Johannesburg	26·2	169	163	— 7	— 12	— 8	— 11	— 12	— 10	22	5	165	183
Curityba	25·4	191	168	171	21	11	5	— 2	3	31	138	179	179
Sao Paulo	23·4	183	181	34	— 6	7	1	— 3	— 3	9	14	181	149
Mangarewa	23·3	181	179	169	31	19	12	12	7	13	116	152	173
Rio de Janeiro	22·0	158	142	— 18	0	14	9	— 5	21	50	62	147	162
Mauritius	20·1	171	149	32	17	22	17	11	14	27	63	172	179
Mollendo	17·1	194	197	250	— 47	— 21	— 2	— 7	3	— 4	197	196	190
Arequipa	16·4	160	195	— 18	— 7	14	1	1	10	20	21	97	148
Boroma	16·0	206	188	201	70	13	14	— 1	6	14	180	196	212
St. Helena	15·9	152	125	100	26	5	15	11	10	50	165	160	165
Samoa	13·8	112	101	56	27	6	0	3	21	45	78	99	108
S. Paulo de Loanda	8·8	185	179	198	276	49	23	8	21	61	192	224	208
Ascension	7·9	167	180	190	— 20	41	9	24	5	11	142	133	167
Daressalam	6·8	145	127	45	47	30	32	24	24	36	51	104	167
Batavia	6·2	204	— 27	— 5	5	— 10	26	29	34	46	35	5	6

[1] Steht für 355 usw. Die mit —Zeichen behafteten Winkel sind Abweichungen von 360.

Ort und Breite		Jänn.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Quixeramobim	5·3	150	200	198	— 43	39	16	— 20	0	88	127	164	158
Tabora	5·0	256	282	— 44	— 29	— 20	— 21	— 5	15	35	7	— 3	— 28
Kwai	4·8	175	190	47	146	— 4	— 10	15	23	36	24	111	159
Noronka	3·8	125	55	48	11	39	49	30	39	54	44	201	195
Ukerewe	2·0	173	157	239	267	4	8	19	34	19	250	293	251
Pará	1·5	96	0	8	— 46	— 31	— 56	45	— 22	56	107	105	179
Quito	0·2	146	— 55	156	— 15	— 11	— 78	273	— 25	8	— 6	197	224
B. Nördliche Halbkugel.													
Singapore	1·3	49	24	49	180	116	100	125	119	112	84	54	43
Trevandrum	8·5	19	25	30	17	245	176	210	232	4	32	19	18
Alhajuela	9·2	87	82	126	104	128	106	106	105	71	72	180	74
San José C. R.	9·9	123	60	101	79	65	93	200	345	17	7	17	42
Aden	12·8	19	19	25	357	325	229	187	246	56	348	13	351
Madras	13·1	357	358	40	128	157	149	187	167	223	22	356	347
Manila	14·6	8	13	27	88	210	162	152	133	23	36	31	11
Port au Prince	18·6	16	13	29	181	182	183	160	316	11	9	19	16
Bombay	18·9	358	360	19	98	167	166	164	174	327	358	11	4
Mexico	19·4	351	328	242	178	188	182	178	220	264	317	349	356
Tonkin	20·8	352	351	15	124	135	270	149	225	12	17	4	356
Hongkong	22·3	1	356	21	79	159	172	176	179	93	22	10	1
Calcutta	22·5	352	354	5	206	205	191	184	206	274	352	2	348
Habana	23·1	17	9	18	14	148	112	132	113	20	25	13	5
Allahabad	25·4	359	345	337	190	187	174	203	218	299	6	12	4
Taihoku	25·0	2	4	22	79	158	156	145	137	52	35	64	11
Neu Orleans	30·0	355	354	322	197	188	183	203	217	260	354	5	4
Kairo	30·1	359	349	349	177	170	181	168	173	198	358	5	0
Zi-ka-wei	31·2	2	1	3	67	154	169	171	148	33	23	15	10
Kumamotu	32·8	357	353	5	261	194	175	175	193	329	12	17	3
Osaka	34·7	1	356	0	206	184	175	182	197	338	6	9	6
Nagoya	35·2	1	360	2	317	190	165	175	199	309	21	14	2
S. Fernando	36·5	346	342	352	103	157	168	179	177	254	2	7	358
P. Delgada	37·8	350	337	329	162	166	168	177	174	244	341	2	354
S. Francisco	37·8	359	349	34	112	136	156	157	161	135	332	1	5
St. Louis	38·6	8	351	2	163	174	162	158	174	13	53	6	358
Lissabon	38·7	353	350	7	84	147	157	138	140	38	6	7	5
Washington	38·9	343	332	356	155	165	150	169	179	330	352	355	348
Peking	39·9	346	338	342	85	169	190	143	203	307	19	360	351
Neapel	40·9	350	352	330	6	177	153	141	133	331	345	355	355
Tiflis	41·7	353	346	328	201	181	196	195	202	279	347	356	360
Coimbra	40·2	350	338	336	75	153	179	143	212	345	350	2	355
Hakodate	41·6	7	1	18	164	188	168	170	173	335	18	16	8
Albany	43·0	345	340	343	187	158	149	139	148	98	343	1	344
Lesina	43·1	355	340	312	204	165	155	144	142	341	347	3	148
St. Martin de Hinx	43·6	12	357	349	181	177	170	153	154	33	14	15	14
Nemuro	43·6	11	353	359	315	196	171	184	172	308	14	13	12

Ort und Breite		Jänn.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Bukarest	44·4	352	5	325	127	140	165	155	153	184	177	13	5
Pola	44·9	336	322	316	167	155	145	142	152	259	340	343	338
Lyon	45·8	344	326	334	17	155	155	139	141	4	15	354	354
Triest	45·7	333	324	308	100	133	130	116	103	16	346	340	338
Turin	45·1	353	346	344	261	186	147	139	138	360	340	341	355
Minnesota	44·8	351	359	304	128	129	147	134	142	117	359	360	359
Belgrad	44·8	350	330	331	66	153	141	124	142	312	346	346	5
Kalocsa	46·5	355	352	328	228	176	156	157	144	325	344	349	4
Ogyalla	47·9	351	333	321	136	140	129	135	147	334	343	344	343
Wien	48·3	346	349	354	145	135	150	119	146	16	359	5	355
Paris	48·8	350	338	330	203	163	164	154	165	347	360	1	354
Jersey	49·2	349	337	336	162	171	158	145	140	18	17	1	1
Falmouth	50·1	349	341	328	191	191	161	147	155	4	8	3	353
Prag	50·1	354	336	299	139	141	120	132	164	6	355	2	26
Krakau	50·1	330	330	319	6	155	128	121	117	337	329	346	332
Valentia	51·9	352	341	327	203	173	167	167	167	31	349	359	360
Kew	51·5	345	337	328	194	162	153	152	151	0	357	353	349
Nertschinsk	51·3	337	330	320	247	176	188	175	172	347	348	344	348
Utrecht	52·1	355	340	0	93	115	123	120	103	61	13	2	4
Potsdam	52·4	347	335	324	183	165	145	130	143	346	350	350	352
Warschau	52·2	353	348	319	219	179	137	147	184	282	348	351	353
Liverpool	53·4	343	338	326	123	138	117	130	100	6	1	350	349
Barnaul	53·3	347	351	346	323	180	117	176	10	156	317	351	358
Irkutsk	52·3	360	356	355	102	150	167	157	142	76	8	25	14
Keitum	54·9	324	320	289	132	124	127	111	132	23	344	342	334
Moskau	55·8	358	349	290	184	160	201	196	186	276	346	357	358
Katherinenburg	56·8	339	318	273	198	157	145	159	174	172	315	8	353
Aberdeen	57·1	350	346	349	153	153	133	142	143	11	3	5	354
Petersburg	59·9	354	346	319	232	160	156	182	198	292	343	356	357
Kristiania	59·9	331	332	309	245	134	117	102	106	311	342	345	345
Dovre	62·1	325	333	298	110	145	138	136	156	312	332	338	332
Sitka	57·1	313	287	254	154	122	148	144	157	197	217	315	337
Helsingfors	60·2	349	336	19	250	201	343	59	183	319	325	335	353

Es folgen nun die Konstanten der dritteltägigen Luftdruckschwankung für die einzelnen Stationen: die p sin $3x$, q cos $3x$ und die daraus folgenden Phasenzeiten A_3 und Amplituden a_3. Es ist $p_3 : q_3 =$ tang A_3; $q_3 :$ cos $A_3 = a_3$.

Diese detaillierte Mitteilung ist nötig, um andere Gruppierungen der Stationen zu ermöglichen, auch mag manchen die Kenntnis individueller Werte von Interesse sein.

Die Konstanten der dritteltägigen Luftdruckschwankung.

	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3
	Hobarton 42° 52' S, 32 *m*, 8 Jahre				Sydney 33° 51' S, 45 *m*, 5 Jahre.				Monte Video 34° 52' S 129 *m* (10 Jahre)			
Jänner	·024	— ·057	157·2	·062	·024	— ·103	166·9	·106	·068	— ·087	142·0	·110
Februar	·035	— ·060	176·7	·069	·014	— ·042	161·6	·044	·074	— ·050	123·1	·089
März	·003	·031	5·6	·031	·002	·035	3·8	·035	·033	·010	72·5	·035
April	·011	·085	5·9	·086	·021	·090	13·1	·092	·027	·074	20·1	·079
Mai	·016	·138	6·6	·139	— ·007	·183	357·8	·183	·011	·134	4·7	·134
Juni	·024	·140	9·7	·142	·019	·133	8·1	·134	— ·001	·143	359·5	·143
Juli	·011	·123	5·0	·123	— ·010	·160	356·5	·160	·004	·138	1·7	·138
August	·041	·110	20·4	·117	·027	·141	10·9	·144	— ·004	·114	357·9	·114
September	·040	·083	26·0	·092	·042	·072	30·3	·083	·034	·042	39·4	·054
Oktober	·000	— ·002	171·5	·002	·002	·012	11·0	·013	·040	— ·022	118·8	·046
November	·029	— ·075	158·9	·080	·012	— ·073	170·5	·074	·036	— ·078	155·2	·086
Dezember	·015	— ·074	168·6	·076	— ·017	— ·081	191·1	·083	·056	— ·111	153·2	·124
	Melbourne 37° 49' S, 37*m*, 5 Jahre				Capstadt 34° 56' S 10 *m*, 5 Jahre.				Buenos Aires 34° 37' S, 22 *m*, 4/5 Jahre)			
Jänner	·005	— ·137	177·9	·137	·017	— ·109	171·1	·110	— ·003	— ·105	181·1	·105
Februar	— ·018	— ·057	197·5	·060	·025	— ·040	148·5	·047	·043	— ·076	150·5	·087
März	·030	— ·042	144·5	·052	·015	·067	12·6	·069	·028	·011	68·6	·030
April	·002	·060	1·9	·060	·038	·096	21·6	·103	·022	·066	8·7	·070
Mai	— ·011	·111	354·5	·111	— ·006	·172	358·0	·172	·016	·128	7·1	·129
Juni	— ·010	·148	356·3	·148	·004	·162	1·4	·162	·030	·122	13·8	·126
Juli	·010	·144	4·0	·145	— ·008	·158	357·1	·158	— ·005	·143	358·0	·143
August	— ·003	·103	358·3	·103	·002	·122	1·2	·122	— ·003	·095	358·2	·095
September	·014	·040	19·3	·042	·015	·056	15·0	·058	·009	·060	8·5	·061
Oktober	— ·006	— ·016	200·6	·020	·019	— ·043	156·2	·047	— ·018	·002	276·3	·018
November	·009	— ·080	173·6	·081	·005	— ·081	176·5	·081	— ·000	— ·068	183·4	·068
Dezember	— ·017	— ·093	190·4	·095	·012	— ·117	174·1	·118	·020	— ·115	170·1	·117

	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3
	Santiago de Chile 33° 27' S, 519 *m*, 5 Jahre				**Cordoba** 31° 25' S, 437 *m*, 11 Jahre				**Johannesburg** 26° 12' S, 1806 *m*, 6 Jahre			
Jänner	— ·014	— ·160	184·9	·163	·056	— ·165	161·3	·174	·020	— ·106	169·3	·108
Februar	— ·033	— ·084	202·4	·090	·047	— ·094	153·4	·105	·014	— ·045	162·7	·047
März	— ·022	— ·013	239·4	·026	·009	— ·024	159·4	·026	·003	·026	6·6	·026
April	·013	·053	14·3	·054	·010	·068	8·8	·069	— ·018	·084	347·9	·086
Mai	·068	·114	30·8	·133	— ·020	·120	350·3	·122	— ·022	·150	351·7	·152
Juni	·061	·148	22·4	·160	— ·022	·178	352·9	·179	— ·034	·168	348·6	·171
Juli	·013	·140	5·3	·141	— ·023	·175	352·5	·176	— ·034	·153	347·5	·157
August	·042	·094	24·1	·103	— ·019	·135	351·8	·136	— ·021	·128	350·3	·130
September	·032	·026	50·9	·041	·000	·048	0·4	·048	·027	·066	22·3	·071
Oktober	— ·016	— ·041	201·3	·044	— ·002	— ·058	182·0	·058	·012	·001	4·8	·012
November	— ·056	— ·114	206·2	·127	·008	— ·141	176·8	·141	·024	— ·091	165·2	·094
Dezember	— ·052	— ·174	196·6	·182	·040	— ·185	167·8	·189	·007	— ·104	183·1	·104
	Rosario 32° 6' S, 28 *m*, 7 Jahre				**Kimberley** 28° 43' S, 1232 *m*, 7 Jahre				**Curityba** 25° 26' S, 908 *m*, 16 Jahre			
Jänner	·004	— ·134	178·3	·134	·011	— ·090	173·	·091	— ·021	— ·113	191·5	·115
Februar	·019	— ·094	168·6	·096	·011	— ·031	161·	·033	·018	— ·084	167·9	·086
März	— ·003	— ·030	188·5	·020	— ·001	·030	358·	·030	·002	— ·014	170·7	·014
April	·003	·098	17·0	·102	·000	·096	360·	·096	·028	·074	20·7	·079
Mai	·066	·124	28·0	·141	— ·029	·147	349·	·150	·028	·138	11·5	·141
Juni	·052	·161	17·9	·169	— ·041	·144	344·	·150	·015	·162	5·3	·163
Juli	·046	·172	15·0	·178	— ·031	·157	349·	·160	— ·005	·162	358·2	·162
August	·014	·133	6·0	·134	— ·082	·091	348·	·122	·008	·140	3·3	·140
September	·018	·082	13·1	·084	·025	·099	14·	·102	·043	·073	30·5	·085
Oktober	·034	— ·029	130·5	·045	·025	·003	83·	·025	·017	— ·019	138·2	·025
November	— ·075	— ·073	225·8	·105	·010	— ·073	172·	·074	·001	— ·069	179·3	·069
Dezember	·022	— ·146	171·4	·148	·011	— ·106	174·	·107	·002	— ·117	179·0	·117

	p_3	q_3	A_3	a_3	r	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3
	Sao Paulo 23° 23' S, 755 *m*, 5 Jahre				**Rio de Janeiro** 21° 57' S, 60 *m*, 3 Jahre				**Mollendo** 17° 5' S, 24 *m*, 4 Jahre			
Jänner	— ·005	— ·084	183·4	·084	·026	— ·063	157·6	·068	— ·027	— ·111	193·6	·113
Februar	— ·000	— ·034	180·7	·034	·037	— ·047	141·8	·060	— ·031	— ·092	196·8	·105
März	·015	·022	34·3	·027	— ·011	·033	341·6	·044	— ·044	— ·016	250·0	·047
April	— ·011	·103	353·9	·104	·000	·110	0·2	·111	— ·049	·043	312·6	·067
Mai	·016	·135	6·8	·136	·038	·153	13·9	·157	— ·069	·124	330·8	·141
Juni	·001	·140	0·6	·140	·018	·111	9·2	·113	— ·004	·159	358·4	·159
Juli	— ·008	·159	357·1	·159	— ·015	·183	355·3	·184	— ·017	·152	353·4	·152
August	— ·007	·127	356·8	·127	·057	·150	20·8	·160	·005	·099	3·1	·100
September	·012	·077	8·9	·078	·071	·059	50·2	·093	— ·004	·051	356·2	·051
Oktober	·008	·034	13·8	·034	·053	·028	62·1	·060	— ·009	— ·031	196·9	·032
November	— ·000	— ·030	180·6	·030	·038	— ·059	147·2	·070	— ·027	— ·096	195·5	·102
Dezember	·028	— ·046	148·7	·054	·016	— ·050	161·6	·052	— ·024	— ·135	190·1	·137
	Mangarewa 23° 15' S, 3 *m*, 2 Jahre				**Mauritius** 20° 6' S, 55 *m*, 12 Jahre				**Arequipa** 16° 22' S, 2450 *m*, 4 Jahre			
Jänner	·004	— ·147	181·4	·147	·015	— ·093	170·8	·097	·016	— ·044	160·0	·047
Februar	·001	— ·081	179·3	·081	·019	— ·032	149·3	·037	— ·009	— ·036	194·5	·037
März	·006	— ·027	168·5	·028	·024	·039	31·6	·046	— ·009	·029	342·4	·031
April	·035	·058	31·1	·068	·028	·092	16·9	·096	— ·001	·104	352·7	·105
Mai	·041	·119	18·8	·126	·050	·124	22·0	·134	·027	·109	13·7	·112
Juni	·028	·141	11·8	·144	·043	·144	16·6	·150	·001	·141	0·7	·141
Juli	·031	·143	12·4	·147	·030	·156	11·0	·159	·002	·145	0·6	·146
August	·014	·118	6·8	·119	·030	·124	13·6	·128	·023	·127	10·1	·128
September	·019	·179	13·5	·081	·032	·063	26·9	·071	·037	·103	20·0	·109
Oktober	·037	— ·018	116·3	·041	·018	·009	63·5	·020	·021	·055	20·8	·059
November	·046	— ·085	151·9	·097	·001	— ·056	171·9	·057	·028	·004	97·0	·028
Dezember	·013	— ·122	173·9	·123	·008	— ·079	179·4	·079	·025	— ·041	147·6	·048

	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3
	Boroma 16° S, 187 *m*, 5 Jahre (33° 30' E. G. Ost-Südafrika)				**Samoa** 13° 48' S, 3 *m*, 4 Jahre				**Ascension** 7° 55° S, 16 *m*, 2 Jahre			
Jänner	— ·030	— ·062	206°	·070	·077	— ·076	112·1	·108	·017	— ·073	166·9	·075
Februar	— ·010	— ·068	188	·069	·060	— ·040	101·2	·072	— ·000	— ·038	180·1	·038
März	— ·002	— ·006	201	·006	·082	·017	55·8	·084	— ·007	— ·043	189·8	·044
April	·027	·010	70	·029	·051	·044	26·7	·067	— ·004	·010	339·7	·017
Mai	·020	·088	13	·091	·050	·094	5·5	·106	·002	·027	41·1	·036
Juni	·030	·121	14	·125	·043	·103	0·2	·112	·009	·063	8·5	·064
Juli	— ·002	·116	359	·116	·039	·081	3·2	·090	·016	·036	24·0	·040
August	·013	·125	6	·126	·043	·048	22·4	·064	·002	·021	4·5	·021
September	·015	·059	14	·061	·092	·039	44·5	·100	·005	·025	11·3	·025
Oktober	·000	·000	180	·000	·073	— ·013	77·6	·074	·027	— ·034	141·6	·043
November	— ·019	— ·065	196	·068	·085	— ·052	98·9	·100	·005	— ·005	133·2	·007
Dezember	— ·052	— ·083	212	·098	·069	— ·060	108·5	·091	·013	— ·057	167·1	·058
	St. Helena 15° 57' S, 538 *m*, 5 Jahre				**San Paulo de Loanda** 8° 49' S. 59 *m*, 6½ Jahre				**Daressalam** 6° 49' S. 14 *m*, 12 Jahre			
Jänner	·048	— ·090	152·2	·102	— ·006	— ·075	184·6	·075	·019	— ·028	145·4	·034
Februar	·053	— ·053	125·0	·075	·001	— ·039	179·1	·039	·017	— ·013	127·4	·021
März	·023	— ·004	99·9	·023	— ·009	— ·027	198·4	·028	·022	·027	45·0	·031
April	·017	·035	25·9	·039	— ·012	·001	275·7	·012	·035	·032	47·6	·047
Mai	·008	·087	5·2	·088	·037	·033	48·6	·050	·020	·036	29·4	·041
Juni	·028	·105	14·9	·109	·029	·068	23·0	·074	·023	·036	32·3	·043
Juli	·025	·126	11·2	·128	·008	·059	8·1	·060	·019	·043	23·9	·047
August	·015	·084	10·1	·085	·017	·044	21·4	·047	·019	·043	24·1	·047
September	·031	·026	50·2	·040	·026	·014	61·4	·030	·031	·044	35·8	·053
Oktober	·010	— ·038	165·1	·040	— ·006	— ·029	191·7	·030	·057	·047	50·9	·074
November	·030	— ·081	159·6	·086	— ·035	— ·036	224·2	·050	·027	— ·007	104·1	·028
Dezember	·032	— ·117	164·8	·122	— ·027	— ·052	207·6	·058	·009	— ·038	166·7	·039

	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3
	Batavia 6° 11' S, 8 *m*, 40 Jahre				Tabora 5° 1' S, 1200 *m*, 10 Jahre				Fernando Noronha 3° 50' S, 95 *m*, 2 Jahre			
Jänner	— ·004	— ·010	203·8	·010	— ·039	— ·010	256·0	·041	·023	— ·016	124·8	·028
Februar	— ·003	·005	332·6	·006	— ·019	·004	281·5	·020	·024	·017	54·7	·029
März	— ·005	·052	354·7	·052	— ·029	·030	316·3	·042	·034	·038	48·2	·051
April	·006	·072	5·1	·073	— ·010	·018	331·4	·020	·012	·064	10·6	·065
Mai	— ·009	·091	350·4	·092	— ·001	·022	339·9	·022	·047	·059	38·6	·075
Juni	·029	·060	25·8	·067	— ·0015	·030	339·2	·030	·038	·033	49·0	·050
Juli	·031	·057	28·8	·065	— ·000	·036	355·3	·036	·020	·044	29·8	·051
August	·033	·049	34·0	·059	·010	·036	15·2	·037	·029	·036	38·9	·046
September	·037	·036	46·1	·049	·027	·038	35·4	·047	·052	·038	53·9	·064
Oktober	·019	·028	34·6	·034	·001	·005	7·3	·005	·035	·036	44·2	·050
November	·002	·023	5·0	·023	— ·000	·008	358·6	·008	— ·014	— ·0375	200·5	·040
Dezember	·001	·005	5·7	·005	— ·009	·017	332·1	·019	— ·017	— ·065	194·6	·067
	Quixeramobim 5° 16' S, 207 *m*, 10 Jahre				Kwai 4° 45' S, 1610 *m*, 3 Jahre				Ukerewe 2° 0' S, 1200 *m*, 8 Jahre			
Jänner	·0365	— ·0725	150·3	·081	·002	— ·025	174·5	·025	·002	— ·023	173·0	·023
Februar	— ·015	— ·0425	199·5	·046	— ·005	— ·027	190·5	·027	·027	— ·013	157·4	·021
März	— ·003	— ·009	198·4	·009	·010	·009	47·0	·014	— ·015	— ·009	239·0	·017
April	— ·010	·011	317·4	·015	— ·001	·005	346·2	·005	— ·050	— ·003	266·7	·050
Mai	·025	·033	38·2	·042	— ·003	·039	356·3	·039	·002	·027	4·3	·027
Juni	·013	·045	16·1	·048	— ·006	·035	350·0	·035	·003	·020	8·5	·020
Juli	— ·016	·044	339·6	·047	·014	·054	14·9	·056	·008	·029	19·1	·031
August	— ·000	·046	0·0	·046	·012	·029	22·5	·031	·007	·011	33·5	·013
September	·047	·0013	88·4	·047	·034	·047	35·8	·058	·009	·027	18·5	·028
Oktober	·058	— ·043	126·6	·072	·011	·025	24·3	·027	— ·014	— ·005	250·3	·015
November	·0245	— ·0795	164·3	·083	·009	— ·003	110·7	·010	— ·028	— ·012	293·2	·030
Dezember	·0406	— ·100	157·8	·108	·015	·039	159·0	·042	— ·028	— ·009	251·3	·029

	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3
	Pará (Belem) 1° 27' S, 10 *m*, 3 Jahre (2stündig)				**Singapore** 1° 15' N, 10 *m*, 5 Jahre				**Alhajuela** 9° 12' N, 44 *m*, 1900—1904 (5 Jahre)			
Jänner	·018	— ·002	96·3	·018	·044	·039	48·5	·059	·065	·004	86·5	·065
Februar	·000	·023	0·0	·023	·020	·044	24·4	·048	·065	·009	82·1	·066
März	·007	·053	7·5	·053	·028	·024	49·4	·037	·063	— ·045	125·5	·077
April	— ·088	·085	314·0	·122	·055	— ·000	179·8	·055	·066	— ·017	104·4	·068
Mai	— ·033	·055	329·0	·064	·049	— ·025	116·0	·055	·042	— ·033	128·1	·053
Juni	— ·018	·012	303·7	·022	·041	— ·007	99·7	·042	·091	— ·025	105·5	·093
Juli	·012	·012	45·0	·017	·060	— ·028	125·0	·066	·070	— ·020	106·0	·073
August	— ·007	·017	337·6	·018	·037	— ·020	118·9	·042	·088	— ·024	105·3	·091
September	·022	·015	55·7	·027	·043	— ·017	111·8	·046	·107	·036	71·4	·113
Oktober	·043	— ·013	106·8	·045	·051	·005	84·4	·051	·090	·030	71·6	·095
November	·045	— ·012	104·9	·047	·045	·033	53·8	·056	·095	— ·001	179·6	·095
Dezember	·007	— ·030	178·7	·030	·043	·047	42·5	·063	·068	·019	74·4	·071
	Quito 0° 14' S, 2850 *m*, 2 Jahre				**Trevandrum** 8° 30° N, 59 *m*, 1856/64				**San José** 9° 56' N, 1169 *m*, 1889/1900 (10 Jahre)			
Jänner	·019	— ·028	145·8	·034	·032	·092	19·3	·098	·013	— ·030	123·4	·032
Februar	— ·020	·014	305·0	·024	·033	·072	25·0	·080	·021	·012	60·3	·024
März	·003	·011	15·5	·012	·024	·043	29·8	·049	·042	— ·008	100·8	·043
April	— ·010	·038	344·8	·039	·008	·027	17·0	·028	·030	·006	78·7	·031
Mai	— ·015	·044	340·7	·047	— ·013	— ·006	244·5	·015	·019	·009	64·6	·021
Juni	— ·014	·018	322·1	·023	·000	— ·025	175·8	·025	·005	— ·000	93·4	·005
Juli	— ·027	·001	272·5	·027	— ·013	— ·021	210·9	·025	— ·005	— ·014	199·7	·015
August	— ·012	·026	335·7	·029	— ·009	— ·007	231·9	·012	— ·005	·018	344·5	·018
September	·003	·021	8·1	·031	·000	·022	4·1	·022	·008	·026	17·1	·027
Oktober	— ·003	·027	353·7	·027	·026	·042	32·0	·050	·006	·048	7·1	·048
November	— ·031	— ·010	197·2	·032	·024	·073	18·9	·077	·014	·046	16·9	·047
Dezember	— ·015	— ·015	224·4	·021	·026	·081	17·8	·086	·025	·028	41·8	·037

	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	b_3	A_3	a_3
	Aden 12' 45' N, 29 *m*, c. 2 Jahre				**Manila** 14° 35' N, 14 *m*, 1887/98				**Bombay** 18° 54' N, 11 *m*, 25 Jahre			
Jänner	·046	·132	19·1	·140	·021	·147	8·1	·148	— ·005	·168	357·5	·168
Februar	·031	·089	18·9	·094	·023	·103	12·6	·105	— ·000	·127	359·7	·127
März	·043	·094	24·7	·103	·028	·056	26·6	·063	·019	·058	18·5	·061
April	— ·003	·051	357·1	·051	·001	·026	88·0	·026	·020	— ·003	98·0	·020
Mai	— ·023	·033	325·3	·040	— ·003	— ·005	210·1	·006	·009	— ·043	167·3	·043
Juni	— ·084	— ·074	228·7	·111	·013	— ·039	161·6	·041	·022	— ·091	166·3	·094
Juli	— ·013	— ·096	187·5	·097	·017	— ·032	152·0	·036	·020	— ·068	163·5	·071
August	— ·084	— ·038	245·6	·092	·016	— ·015	133·1	·022	·003	— ·033	174·0	·033
September	·008	·005	56·3	·009	·017	·040	23·0	·044	— ·010	·015	327·4	·018
Oktober	— ·015	·071	347·9	·073	·041	·057	35·7	·070	— ·004	·081	357·6	·081
November	·023	·096	13·3	·099	·048	·080	31·0	·093	·022	·122	10·6	·124
Dezember	— ·015	·097	351·0	·098	·023	·120	10·9	·122	·012	·154	4·4	·155
	Madras 13° 5' N, 7 *m*, 5 Jahre				**Port au Prince** 18° 34' N, 36 *m*, 6 Jahre				**Mexiko** 19° 26' N, 2282 *m*, 3 Jahre			
Jänner	— ·006	·099	356·5	·099	·051	·183	15·6	·190	— ·013	·085	351·3	·086
Februar	— ·002	·069	358·1	·069	·028	·120	12·9	·123	— ·040	·064	328·0	·075
März	·034	·040	40·4	·052	·033	·060	28·8	·068	— ·015	— ·008	241·8	·017
April	·053	— ·041	127·7	·067	— ·000	— ·020	180·9	·020	·002	— ·057	178·0	·057
Mai	·031	— ·078	157·2	·084	— ·001	— ·040	181·8	·040	— ·013	— ·088	188·4	·089
Juni	·019	— ·031	148·5	·036	— ·002	— ·051	182·7	·051	— ·003	— ·097	181·8	·097
Juli	— ·009	— ·073	187·0	·074	·005	— ·014	160·0	·015	·002	— ·067	178·0	·067
August	·016	— ·067	166·6	·069	— ·004	·004	316·4	·006	— ·034	— ·040	220·4	·052
September	— ·027	— ·029	223·0	·040	·010	·050	11·4	·051	— ·073	— ·009	264·0	·073
Oktober	·006	·015	21·8	·016	·010	·065	8·9	·066	— ·044	·047	316·9	·064
November	— ·005	·078	356·1	·078	·042	·165	18·6	·132	— ·015	·077	349·2	·078
Dezember	— ·024	·106	347·3	·136	·046	·160	16·0	·166	— ·008	·104	355·6	·104

	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3
	Tonkin 20° 48' N, 116 *m*, 4 Jahre				**Calcutta** 22° 32' N, 6 *m*, 12 Jahre				**Allahabad** 25° 26' N, 112 *m*, 10 Jahre			
Jänner	— ·033	·220	351·5	·222	— ·030	·209	351·9	·212	— ·005	·198	358·6	·198
Februar	— ·030	·177	350·5	·180	— ·017	·148	353·5	·149	— ·029	·108	345·1	·112
März	·023	·085	15·1	·088	·006	·068	5·4	·068	— ·032	·074	337·0	·081
April	·042	— ·028	123·7	·050	— ·023	— ·049	205·6	·051	— ·005	— ·030	189·5	·030
Mai	·020	— ·020	135·0	·028	— ·049	— ·103	205·2	·115	— ·020	— ·171	186·6	·172
Juni	·000	— ·043	270·0	·043	— ·013	— ·064	191·3	·065	·009	— ·085	173·6	·086
Juli	·028	— ·047	149·2	·055	— ·004	— ·068	183·6	·068	— ·050	— ·117	203·1	·127
August	— ·012	— ·012	225·0	·017	— ·014	— ·030	206·4	·033	— ·069	— ·088	217·9	·112
September	·008	·040	11·7	·041	— ·048	·004	274·3	·048	— ·031	·017	298·7	·036
Oktober	·027	·089	16·9	·093	— ·013	·091	352·0	·092	·008	·083	5·5	·084
November	·012	·155	4·4	·155	·006	·167	2·2	·167	·040	·189	12·1	·193
Dezember	— ·015	·210	355·9	·210	— ·008	·207	347·7	·208	·014	·205	3·9	·206
	Honkong 22' 15' N, 33 *m*, 9 Jahre				**Habana** 23° 9' N, 19 *m*, 10 Jahre				**Taihoku** 25° 2' N, 9 *m*, 1897/1906 (10 Jahre)			
Jänner	·005	·233	1·3	·233	·041	·135	16·9	·141	·009	·245	2·0	·245
Februar	— ·011	·165	356·2	·165	·022	·133	9·4	·135	·014	·214	3·7	·215
März	·036	·094	20·9	·101	·029	·091	17·7	·096	·039	·096	22·0	·104
April	·032	·006	79·4	·033	·008	·033	13·6	·034	·024	·005	79·0	·025
Mai	·015	— ·040	159·4	·043	·004	— ·007	148·0	·009	·023	— ·057	158·1	·061
Juni	·012	— ·084	171·9	·085	·023	— ·009	111·8	·024	·028	— ·062	156·1	·068
Juli	·005	— ·088	176·5	·088	·029	— ·019	132·1	·028	·046	— ·065	144·6	·080
August	·001	— ·072	179·0	·072	·013	— ·005	112·6	·014	·044	— ·047	137·0	·064
September	·020	— ·001	92·9	·020	·015	·041	20·1	·044	·024	·018	52·1	·030
Oktober	·026	·066	21·5	·071	·029	·061	25·4	·068	·055	·078	35·3	·096
November	·026	·144	10·2	·146	·025	·109	12·9	·112	·128	·063	64·0	·143
Dezember	·003	·253	0·8	·253	·013	·141	5·3	·142	·038	·191	11·1	·195

	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3
	Neu Orleans 29° 58' N, zirka 9 Jahre				**Zi-ka-wei** 31° 12', 7 *m*, 1874/1887 (14 Jahre)				**Osaka** 34° 42' N, 6 *m*, 17 Jahre			
Jänner	— ·016	·190	355·2	·191	·009	·235	2·2	·235	·003	·225	0·7	·225
Februar	— ·013	·131	354·3	·132	·004	·176	1·3	·176	— ·010	·143	355·8	·143
März	— ·030	·039	322·4	·049	·005	·087	3·3	·087	·000	·069	0·4	·069
April	— ·006	— ·018	197·3	·019	·023	·010	66·5	·025	— ·003	— ·005	205·5	·006
Mai	— ·010	— ·075	187·8	·076	·022	— ·045	154·0	·050	— ·004	— ·049	184·4	·049
Juni	— ·005	— ·091	183·1	·091	·018	— ·090	168·7	·092	·006	— ·070	175·3	·071
Juli	— ·032	— ·075	203·1	·082	·011	— ·073	171·4	·074	— ·002	— ·065	182·0	·065
August	— ·036	— ·048	216·9	·060	·022	— ·035	147·9	·041	— ·012	— ·038	197·0	·040
September	— ·019	— ·004	259·6	·019	·022	·034	32·9	·040	— ·010	·025	338·4	·027
Oktober	— ·006	·054	353·7	·054	·043	·099	23·2	·108	·009	·086	6·0	·087
November	·008	·102	4·5	·102	·043	·162	14·9	·168	·024	·153	8·8	·155
Dezember	·006	·144	4·2	·144	·038	·212	10·2	·215	·020	·205	5·7	·206
	Kairo 30° 5' N, 33 *m*, 3 Jahre				**Kumamotu** 32° 49' N, 39 *m*, 14 Jahre				**Nagoya** 35° 10' N, 15 *m*, 14 Jahre			
Jänner	— ·003	·150	358·8	·150	— ·010	·203	357·2	·203	·005	·226	1·2	·226
Februar	— ·026	·137	349·1	·140	— ·018	·141	352·7	·142	— ·001	·164	359·5	·164
März	— ·008	·039	348·7	·040	·006	·082	4·5	·082	·002	·088	1·5	·088
April	·004	— ·070	176·5	·070	— ·011	— ·002	261·1	·011	— ·002	·002	316·7	·003
Mai	·023	— ·118	169·5	·120	— ·012	— ·047	194·1	·049	— ·008	— ·049	189·5	·050
Juni	— ·003	— ·150	181·3	·150	·006	— ·061	174·8	·061	·015	— ·056	165·3	·058
Juli	·025	— ·117	167·9	·120	·004	— ·052	175·2	·052	·005	— ·066	175·2	·066
August	·011	— ·089	173·2	·090	— ·005	— ·020	193·4	·021	— ·012	— ·033	198·8	·036
September	— ·012	— ·038	198·0	·040	— ·016	·025	329·2	·030	— ·002	·026	309·0	·026
Oktober	— ·002	·060	358·2	·060	·018	·082	12·2	·084	·039	·100	21·3	·108
November	·011	·119	5·2	·120	·040	·139	16·5	·142	·044	·172	14·4	·178
Dezember	·000	·140	0·0	·140	·061	·200	3·4	·201	·009	·222	2·3	·223

	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3
	San Fernando 36° 28' N, 29 *m*, 16 Jahre				**San Francisco** 37° 48' N, 47 *m*, zirka 9 Jahre				**Lissabon** 38° 43' N, 103 *m*, 10 Jahre			
Jänner	−·042	·166	345·8	·171	−·003	·157	358·9	·157	−·021	·181	353·2	·182
Februar	−·041	·125	341·9	·132	−·019	·099	349·1	·101	−·023	·134	350·4	·139
März	−·004	·028	351·9	·028	·040	·059	34·1	·071	·001	·006	7·2	·006
April	·031	−·007	102·7	·032	·032	−·013	112·1	·034	·017	·002	84·3	·017
Mai	·029	−·068	156·9	·074	·041	−·043	136·4	·059	−·021	·033	147·3	·039
Juni	·018	−·082	167·6	·084	·037	−·083	156·0	·091	−·024	·057	157·3	·062
Juli	·019	−·096	178·9	·098	·031	−·074	156·9	·080	−·034	·038	138·3	·051
August	·004	−·068	176·6	·068	·020	−·055	160·5	·059	−·028	·033	139·8	·043
September	−·005	−·001	254·4	·005	·006	−·006	135·0	·008	·018	·023	38·3	·029
Oktober	·002	·063	1·8	·063	−·019	·036	332·2	·041	·009	·085	6·1	·086
November	·013	·102	7·3	·103	·009	·080	0·6	·080	·017	·143	7·0	·144
Dezember	−·006	·152	357·6	·152	·012	·129	5·3	·130	·014	·167	4·8	·168
	Ponta Delgada 37° 45' N, 20 *m*, 7—11 Jahre				**St. Louis** 38° 38' N, 173 *m*, zirka 9 Jahre				**Washington** 38° 54' N, 31 *m*, zirka 9 Jahre			
Jänner	−·030	·175	350·3	·178	·025	·181	7·7	·182	−·058	·195	343·4	·204
Februar	−·040	·094	336·9	·102	−·018	·122	351·3	·123	−·079	·150	332·2	·169
März	−·029	·048	328·9	·056	·002	·058	2·0	·058	−·006	·080	356·1	·081
April	·010	−·032	162·2	·034	·009	−·029	162·8	·030	·006	−·014	155·1	·015
Mai	·018	−·072	165·9	·074	·008	−·082	174·4	·082	·016	−·060	165·1	·062
Juni	·022	−·103	168·0	·105	·031	−·096	161·9	·101	·034	−·059	150·1	·068
Juli	·003	−·069	177·5	·069	·029	−·070	157·5	·076	·017	−·046	159·7	·049
August	·005	−·051	174·4	·052	·009	−·084	173·9	·085	·004	−·033	179·4	·033
September	−·017	−·008	244·1	·019	·015	·064	13·2	·066	−·011	·019	329·9	·022
Oktober	−·021	·060	340·7	·064	·010	·008	53·3	·013	−·010	·070	351·7	·071
November	·003	·101	1·7	·101	·015	·150	5·7	·151	−·001	·125	354·6	·127
Dezember	−·013	·130	354·3	·131	−·005	·163	358·4	·163	−·042	·202	348·1	·206

	Peking 39° 57' N, 38 *m*, 22 Jahre				Tiflis 41° 42' N, 442 *m*, 22 Jahre				Hakodate 41° 36' N, 3 *m*, 14 Jahre			
	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3
Jänner	— ·030	·215	345·9	·224	— ·022	·180	353·0	·181	·022	·181	6·9	·182
Februar	— ·066	·163	338·1	·176	— ·029	·116	346·0	·119	·002	·134	0·7	·134
März	— ·025	·077	342·0	·081	— ·035	·055	327·5	·066	·016	·047	18·2	·050
April	·017	·001	85·4	·018	— ·015	— ·010	200·9	·018	·002	— ·009	163·9	·009
Mai	·001	— ·005	168·7	·005	— ·007	— ·048	180·8	·048	— ·006	— ·048	188·4	·049
Juni	— ·016	— ·090	189·8	·091	— ·018	— ·064	195·7	·066	·014	— ·065	168·0	·067
Juli	·040	— ·053	143·0	·066	— ·021	— ·081	194·5	·084	·009	— ·054	170·2	·055
August	— ·012	— ·028	203·2	·030	— ·022	— ·054	202·2	·058	·006	— ·046	173·0	·046
September	— ·014	·009	302·7	·017	— ·037	·006	279·2	·038	— ·009	·019	334·8	·021
Oktober	·028	·083	18·6	·088	— ·019	·080	346·6	·082	·027	·081	18·4	·086
November	— ·001	·156	359·6	·156	— ·006	·132	355·8	·132	·042	·147	15·9	·153
Dezember	— ·035	·227	351·2	·230	— ·001	·171	359·7	·171	·025	·178	7·9	·180

	Neapel 40° 52' N, 149 *m*, 10 Jahre				Coimbra 40° 12' N, 141 *m*, 20 Jahre				Albany 42° 39' N, 46 *m*, 5 Jahre			
	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3
Jänner	— ·022	·130	370·4	·132	— ·031	·181	350·3	·184	— ·048	·164	344·6	·170
Februar	— ·034	·104	351·9	·109	— ·049	·120	337·8	·130	— ·037	·099	339·5	·106
März	— ·025	·043	329·8	·050	— ·031	·071	336·1	·078	— ·022	·072	343·0	·075
April	·001	·007	6·2	·007	·003	·001	75·1	·003	— ·001	— ·004	187·1	·004
Mai	·003	— ·046	176·9	·046	·015	— ·029	152·6	·033	·021	— ·051	157·6	·055
Juni	·027	— ·054	153·4	·060	·005	— ·043	179·3	·043	·026	— ·044	149·1	·051
Juli	·036	— ·044	140·7	·057	·023	— ·030	142·5	·038	·042	— ·049	139·4	·064
August	·027	— ·026	133·2	·037	— ·005	— ·008	212·0	·009	·023	— ·037	148·1	·043
September	— ·005	·009	330·9	·010	— ·020	·074	344·9	·076	·005	·001	97·6	·005
Oktober	— ·024	·088	345·0	·090	— ·018	·099	349·7	·100	— ·016	·051	342·6	·053
November	— ·008	·093	355·1	·093	·004	·134	1·7	·134	·002	·123	0·9	·123
Dezember	— ·011	·120	354·9	·120	— ·016	·168	354·5	·169	— ·040	·143	344·4	·149

	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3	p_8	q_3	A_3	a_3
	Lesina 43° 5' N, 20 *m*, 8 Jahre				**Nemuro** 43° 35' N, 27 *m*, 14 Jahre				**Pola** 44° 52' N, 32 *m*, 8 Jahre			
Jänner	— ·010	·122	355·2	·123	·031	·160	11·0	·163	— ·052	·114	335·5	·125
Februar	— ·028	·076	339·8	·081	— ·014	·116	353·3	·117	— ·058	·074	321·9	·094
März	— ·028	·027	311·8	·040	— ·001	·053	358·9	·053	— ·028	·029	316·0	·040
April	— ·007	— ·016	203·6	·017	— ·002	·009	315·2	·010	·005	— ·022	167·2	·022
Mai	·014	— ·053	165·2	·055	— ·015	— ·052	196·5	·054	·018	— ·039	155·5	·043
Juni	·030	— ·063	154·5	·070	·010	— ·063	170·6	·064	·030	— ·042	144·5	·052
Juli	·043	— ·058	143·5	·072	·004	— ·061	183·5	·061	·034	— ·044	142·3	·056
August	·024	— ·031	142·3	·039	·007	— ·045	171·7	·046	·019	— ·036	152·2	·041
September	— ·015	·005	341·0	·015	— ·009	·007	308·5	·012	— ·013	— ·003	259·1	·013
Oktober	— ·016	·070	347·1	·072	·016	·064	14·1	·066	— ·023	·063	339·9	·067
November	·005	·090	3·2	·090	·031	·133	12·9	·137	— ·026	·085	343·0	·089
Dezember	— ·026	·124	348·1	·127	·037	·145	12·4	·150	— ·041	·099	337·5	·107
	St. Martin de Hinx 43°35' N. 40 *m*, 22 Jahre				**Bukarest** 44° 25' N, 82 *m*, 10 Jahre				**Lyon** 45° 46' N, 175 *m*, 8 Jahre			
Jänner	·028	·128	12·2	·131	— ·018	·120	351·5	·121	— ·042	·143	343·6	·149
Februar	— ·005	·097	357·1	·097	·009	·093	5·5	·093	— ·055	·084	326·2	·101
März	— ·006	·031	349·1	·032	— ·014	·020	325·0	·024	— ·025	·051	333·9	·057
April	— ·001	— ·043	180·8	·043	·016	— ·012	126·9	·020	·003	·010	17·2	·010
Mai	·004	— ·067	176·6	·067	·040	— ·048	140·2	·062	·020	— ·043	155·1	·047
Juni	·012	— ·070	170·3	·071	·016	— ·062	165·5	·064	·026	— ·056	155·1	·062
Juli	·031	— ·063	154·5	·070	·022	— ·047	154·9	·052	·050	— ·058	139·0	·076
August	·016	— ·035	155·4	·038	·021	— ·041	152·9	·051	·030	— ·037	141·0	·048
September	·014	·021	33·2	·025	— ·007	— ·001	184·1	·007	·002	·032	4·1	·032
Oktober	·020	·083	13·6	·085	— ·004	·071	176·8	·071	·019	·073	14·6	·076
November	·034	·124	15·3	·128	·024	·101	13·4	·104	— ·015	·131	353·5	·132
Dezember	·035	·136	14·4	·140	·009	·115	4·6	·115	— ·017	·153	353·7	·153

	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3
	Turin 45° 4' N, 276 *m*, 20 Jahre				**Kalocsa** 46° 32' N, 109 *m*, 10 Jahre				**Belgrad** 44° 48' N, 144 *m*, 10 Jahre			
Jänner	— ·018	·144	352·9	·145	— ·011	·123	354·8	·124	— ·023	·134	350·3	·136
Februar	— ·027	·106	345·7	·109	— ·010	·076	352·1	·077	— ·051	·089	330·2	·103
März	— ·014	·050	343·9	·052	— ·018	·030	328·3	·035	— ·032	·058	331·1	·066
April	— ·004	— ·028	261·0	·028	— ·008	— ·007	228·1	·011	·009	·004	66·0	·010
Mai	— ·004	— ·039	185·8	·039	·003	— ·038	175·5	·038	·018	— ·036	153·5	·040
Juni	·037	— ·057	147·3	·068	·016	— ·035	155·8	·039	·027	— ·033	140·7	·043
Juli	·040	— ·046	139·0	·061	·018	— ·041	155·6	·045	·038	— ·026	124·4	·046
August	·022	— ·024	137·5	·033	·020	— ·027	143·7	·034	·020	— ·026	142·4	·033
September	·000	·016	360·0	·016	— ·016	·023	324·7	·028	— ·020	·018	312·1	·027
Oktober	— ·021	·057	339·8	·061	— ·021	·074	344·3	·077	— ·015	·061	346·2	·063
November	— ·036	·104	340·9	·110	— ·003	·102	358·9	·102	— ·029	·125	346·9	·128
Dezember	— ·012	·141	355·2	·142	·008	·117	4·0	·118	·012	·130	5·3	·130
	Triest 45° 39' N, 26 *m*, 8 Jahre				**Ogyalla** 47° 52' N, 120 *m*, 1891 1901 (10 Jahre)				**Minnesota** (3 Orte) 46° 46' N, 242 *m*, zirka 9 Jahre			
Jänner	— ·044	·088	333·4	·098	— ·015	·098	351·1	·099	— ·027	·164	350·6	·166
Februar	— ·052	·072	324·2	·089	— ·035	·068	332·8	·076	— ·019	·095	358·9	·095
März	— ·031	·024	307·8	·039	— ·033	·041	321·2	·053	— ·005	·063	354·2	·064
April	·011	— ·002	100·3	·011	·005	— ·005	136·2	·007	·013	— ·010	127·6	·016
Mai	·026	— ·028	132·9	·038	·024	— ·029	140·3	·038	·034	— ·042	129·0	·053
Juni	·029	— ·024	129·6	·038	·040	— ·031	128·5	·051	·039	— ·059	146·5	·071
Juli	·025	— ·012	115·6	·028	·032	— ·032	135·0	·046	·051	— ·049	133·8	·071
August	·022	— ·008	103·0	·023	·021	— ·032	146·9	·038	·038	— ·048	141·6	·061
September	·010	·034	16·4	·035	— ·007	·013	333·9	·015	·016	— ·008	117·3	·017
Oktober	— ·014	·057	346·2	·059	— ·021	·070	343·3	·073	— ·001	·068	359·2	·068
November	— ·033	·092	340·3	·098	— ·026	·091	344·2	·095	— ·006	·114	359·8	·114
Dezember	— ·036	·090	338·2	·097	— ·029	·094	343·0	·098	— ·004	·159	358·5	·159

	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3
	Jersey 49° 11' N, 55 *m*, 10 Jahre				**Wien** 48° 15' N, 200 *m*, 19 Jahre				**Prag** 50° 5' N, 192 *m*, 13 Jahre			
Jänner	— ·026	·130	348·7	·132	— ·025	·107	346·1	·110	— ·011	·105	354·1	·106
Februar	— ·036	·083	336·6	·091	— ·016	·079	348·5	·081	— ·030	·066	335·7	·072
März	— ·013	·033	336·5	·035	— ·004	·038	354·0	·038	— ·037	·021	299·6	·043
April	·005	— ·015	161·6	·016	·014	— ·019	144·6	·023	·012	— ·013	138·7	·018
Mai	·008	— ·053	171·4	·054	·037	— ·038	135·3	·053	·031	— ·039	141·3	·050
Juni	·023	— ·058	158·4	·062	·038	— ·069	150·1	·079	·045	— ·026	120·1	·052
Juli	·042	— ·060	145·0	·073	·052	— ·029	119·2	·060	·047	— ·042	131·6	·063
August	·020	— ·024	140·2	·031	·023	— ·034	145·5	·041	·012	— ·041	163·9	·043
September	·004	·012	18·4	·013	·003	·010	16·1	·011	·003	·032	5·9	·032
Oktober	·002	·067	16·6	·070	— ·001	·070	358·9	·070	— ·005	·056	355·3	·056
November	·001	·114	0·5	·114	·009	·103	5·0	·103	·003	·074	2·4	·074
Dezember	·002	·123	0·9	·123	— ·010	·133	355·0	·133	— ·003	·098	358·4	·098
	Paris 48° 49' N, 49 *m*, 25 Jahre				**Falmouth** 50° 9' N, 60 *m*, 12 Jahre				**Krakau** 50° 4' N, 220 *m*, 30 Jahre			
Jänner	— ·024	·135	349·9	·137	— ·026	·135	349·2	·138	— ·063	·107	329·6	·124
Februar	— ·036	·091	338·4	·098	— ·028	·081	341·2	·086	— ·035	·061	380·2	·070
März	— ·028	·048	329·5	·055	— ·022	·035	327·8	·042	— ·033	·037	318·6	·050
April	— ·004	— ·010	203·3	·010	— ·003	— ·014	191·5	·015	·001	— ·012	173·5	·012
Mai	·018	— ·059	163·0	·062	— ·010	— ·048	191·4	·049	·011	— ·024	154·9	·027
Juni	·020	— ·070	164·1	·073	·022	— ·064	161·0	·068	·024	— ·018	127·7	·030
Juli	·033	— ·068	154·5	·075	·034	— ·053	147·1	·063	·025	— ·015	121·1	·029
August	·010	— ·037	164·6	·038	·018	— ·039	155·0	·043	·015	— ·008	117·0	·017
September	— ·004	·017	346·8	·017	·001	·013	4·0	·013	— ·018	·042	337·5	·046
Oktober	·001	·082	359·6	·082	·009	·060	8·2	·061	— ·032	·052	328·7	·061
November	·002	·109	1·1	·109	·004	·091	2·8	·091	— ·027	·103	345·6	·107
Dezember	— ·013	·132	354·4	·132	— ·013	·115	353·3	·115	— ·045	·085	337·0	·097

	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3
	Valentia 51° 55' N, 6 *m*, 12 Jahre				**Nertschinsk** 51° 19' N, 660 *m*, 15 Jahre				**Potsdam** 52° 24' N, 85 *m*, 10 Jahre			
Jänner	— ·016	·110	351·7	·111	— ·044	·103	336·9	·112	— ·024	·104	347·0	·107
Februar	— ·021	·071	343·3	·074	— ·049	·085	330·0	·098	— ·037	·078	334·6	·086
März	— ·017	·027	326·7	·032	— ·028	·033	319·7	·043	— ·029	·040	324·1	·049
April	— ·008	— ·019	202·8	·021	— ·015	— ·006	246·9	·016	— ·002	— ·019	183·0	·019
Mai	·006	— ·048	173·2	·048	·003	— ·048	175·9	·048	·012	— ·044	164·7	·046
Juni	·012	— ·050	166·7	·051	— ·005	— ·039	187·9	·039	·029	— ·043	145·4	·051
Juli	·012	— ·051	166·7	·052	·004	— ·044	174·8	·044	·034	— ·028	129·5	·044
August	·007	— ·029	167·0	·030	·003	— ·020	171·5	·020	·013	— ·017	142·6	·021
September	·005	·008	31·5	·010	— ·002	·010	347·2	·010	— ·006	·024	346·0	·025
Oktober	— ·009	·044	348·6	·045	— ·017	·081	348·1	·083	— ·010	·055	349·7	·056
November	— ·016	·091	359·0	·091	— ·029	·099	343·7	·103	— ·020	·112	349·9	·114
Dezember	— ·000	·111	359·9	·111	— ·023	·111	348·3	·113	— ·016	·111	351·9	·113
	Kew 51° 28' N, 10 *m*, 12 Jahre				**Utrecht** 52° 5' N, 13 *m*, 19 Jahre				**Warschau** 52° 13' N, 120 *m*, 7 Jahre			
Jänner	— ·033	·119	344·5	·124	— ·006	·075	355·4	·076	— ·012	·091	352·7	·098
Februar	— ·033	·079	337·3	·085	— ·014	·038	339·8	·040	— ·011	·049	347·8	·050
März	— ·030	·048	327·8	·057	·000	·040	0·0	·040	— ·018	·021	319·1	·028
April	— ·002	— ·010	194·0	·010	·024	— ·014	93·3	·024	— ·012	— ·015	219·4	·019
Mai	·018	— ·056	162·4	·059	·030	— ·014	115·0	·033	·001	— ·038	179·3	·038
Juni	·030	— ·058	152·5	·066	·033	— ·021	122·9	·039	·037	— ·040	137·2	·054
Juli	·035	— ·066	151·7	·075	·049	— ·028	119·7	·056	·003	— ·041	146·6	·049
August	·023	— ·041	151·0	·047	·038	— ·008	102·6	·039	— ·002	— ·026	184·4	·026
September	·000	·001	0·1	·001	·019	·011	60·9	·022	— ·024	·005	281·8	·024
Oktober	— ·003	·058	357·5	·058	·010	·041	13·4	·042	— ·008	·036	347·6	·037
November	— ·010	·084	353·1	·084	·003	·073	2·4	·073	— ·011	·068	350·6	·070
Dezember	— ·020	·101	348·7	·104	·006	·082	4·2	·082	— ·009	·080	353·6	·081

	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3
	Liverpool 53° 24' N, 10 *m*, 21 Jahre				**Irkutsk** 32° 16' N, 491 *m*, 8 Jahre				**Moskau** 55° 45' N, 156 *m*, 8 Jahre			
Jänner	— .031	·100	342·9	·104	·000	·145	0·1	·145	— ·003	·082	357·6	·082
Februar	— ·028	·069	337·9	·074	— ·008	·103	355·6	·103	— ·009	·046	349·1	·046
März	— ·020	·030	326·3	·036	— ·002	·026	355·0	·026	— ·016	·006	289·7	·018
April	·006	— ·004	123·0	·007	·022	— ·005	102·1	·023	— ·002	— ·024	184·3	·024
Mai	·028	— ·032	138·4	·041	·024	— ·041	149·6	·047	·015	— ·044	160·5	·046
Juni	·038	— ·019	117·1	·043	·011	— ·048	166·9	·049	— ·009	— ·024	200·6	·026
Juli	·031	— ·026	130·0	·040	·022	— ·051	156·7	·056	— ·008	— ·029	195·9	·030
August	·030	— ·005	99·5	·030	·019	— ·023	141·7	·030	— ·002	— ·020	185·8	·020
September	·002	·020	5·5	·020	·016	·004	75·9	·016	— ·020	·002	275·8	·020
Oktober	·001	·062	1·1	·062	·011	·072	8·3	·074	— ·012	·047	345·5	·049
November	— ·013	·077	350·4	·078	·033	·069	25·2	·076	— ·004	·064	356·9	·064
Dezember	— ·018	·088	348·7	·089	·029	·119	13·7	·119	— ·003	·071	357·6	·071
	Barnaul 53° 20' N, 140 *m*				**Keitum** 54° 54' N, 9 *m*, 9 Jahre				**Katherinenburg** 56° 49' N, 272 *m*, 22 Jahre			
Jänner	— ·014	·061	347·1	·063	— ·051	·069	323·5	·086	— ·019	·050	338·8	·054
Februar	— ·004	·028	351·5	·028	— ·038	·046	320·4	·060	— ·025	·028	318·3	·038
März	— ·005	·021	346·4	·021	— ·031	·011	289·2	·033	— ·028	·002	273·1	·028
April	— ·003	·004	323·1	·005	·017	— ·015	132·3	·023	— ·008	— ·025	198·4	·026
Mai	·000	— ·017	179·7	·017	·028	— ·019	124·2	·034	·015	— ·036	157·4	·039
Juni	·002	— ·001	116·6	·003	·034	— ·026	127·4	·043	·024	— ·034	144·8	·042
Juli	·001	— ·007	175·6	·007	·042	— ·016	110·9	·045	·014	— ·037	159·3	·040
August	·002	·011	10·3	·011	·027	— ·024	132·2	·036	·003	— ·030	174·3	·030
September	— ·011	·024	334·4	·026	·004	·008	23·2	·009	·001	— ·010	171·8	·010
Oktober	— ·027	·029	317·1	·040	— ·008	·029	343·6	·029	— ·026	·026	315·0	·036
November	— ·008	·055	351·7	·056	— ·018	·054	341·6	·057	·006	·042	8·1	·042
Dezember	— ·002	·046	357·5	·046	— ·031	·063	333·8	·070	— ·007	·060	353·1	·060

	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3	p_3	q_3	A_3	a_3
	Sitka 57° 3' N, 4 *m*, 23 Jahre				**Petersburg** 59° 56' N, 5 *m*, 7 Jahre				**Kristiania** 59° 55' N, 25 *m*, 11 Jahre			
Jänner	— ·027	·025	312·8	·037	— ·006	·056	354·0	·056	— ·039	·070	330·5	·080
Februar	— ·035	·011	286·7	·037	— ·014	·053	345·5	·055	— ·031	·058	332·2	·066
März	— ·026	— ·007	254·1	·027	— ·018	·021	319·3	·028	— ·018	·015	309·4	·024
April	·016	— ·032	153·5	·036	— ·014	— ·011	232·0	·018	— ·002	— ·001	245·3	·002
Mai	·021	— ·013	121·7	·025	·007	— ·019	160·1	·020	·027	— ·026	134·0	·038
Juni	·012	— ·019	147·7	·022	·013	— ·028	155·6	·031	·043	— ·022	117·3	·048
Juli	·019	— ·026	143·8	·032	— ·001	— ·016	182·2	·016	·030	— ·006	101·9	·031
August	·008	— ·019	157·2	·021	— ·006	— ·019	198·3	·020	·018	— ·005	105·8	·019
September	— ·006	— ·020	196·7	·021	— ·019	·008	292·2	·020	— ·010	·008	311·1	·014
Oktober	— ·010	— ·013	217·0	·015	— ·015	·046	342·5	·049	— ·014	·042	342·0	·044
November	— ·010	·010	315·0	·013	— ·003	·049	355·7	·042	— ·018	·067	344·9	·069
Dezember	— ·020	·047	337·0	·051	— ·003	·056	356·8	·056	— ·021	·076	344·7	·079
	Aberdeen 57° 10' N, 25 *m*, 12 Jahre				**Helsingfors** 60° 10' N, 12 *m*, 19 Jahre				**Dovre** 62° 5' N, 644 *m*, 9 Jahre			
Jänner	— ·015	·084	349·7	·085	— ·010	·052	349·0	·053	— ·031	·045	325·4	·055
Februar	— ·018	·068	345·5	·071	— ·021	·048	335·7	·050	— ·019	·037	333·1	·042
März	— ·008	·041	349·4	·041	(·028	·080	19·3	·085)	— ·024	·012	297·8	·027
April	·008	— ·015	153·4	·017	— ·022	— ·008	250·0	·023	·004	— ·001	109·9	·004
Mai	·020	— ·041	153·4	·045	— ·009	— ·023	201·7	·025	·014	— ·020	145·4	·024
Juni	·043	— ·041	133·3	·061	(·003	— ·010	343·3	·010)	·019	— ·021	137·8	·029
Juli	·043	— ·056	142·3	·071	(·005	·003	59·0	·006)	·024	— ·025	135·6	·035
August	·023	— ·030	143·1	·038	(— ·008	— ·015	183·1	·015)	·007	— ·016	156·1	·017
September	·002	·013	11·3	·013	— ·007	·008	318·8	·011	— ·013	·012	312·3	·018
Oktober	·003	·048	3·0	·048	— ·019	·027	324·9	·033	— ·020	·038	331·9	·043
November	·005	·063	4·6	·064	— ·016	·035	335·4	·038	— ·020	·050	337·6	·054
Dezember	— ·008	·074	354·1	·074	— ·007	·061	353·5	·061	— ·017	·050	331·7	·053

Sodankyla 67° 29' N, 187 *m*, 2 Jahre November—Februar ·014 sin $(315 \cdot 6 + 3x)$ Mai—August ·017 sin $(187 \cdot 7 + 3x)$

Kurze Nachweise über das Beobachtungsmaterial, welches zur Berechnung der dritteltägigen Luftdruckschwankung gedient hat.

Stationen, welche in meinen früheren Abhandlungen und bei Angot zu finden sind, werden hier weggelassen, im allgemeinen wurde nur auf die hier zum ersten Male erscheinenden Orte hingewiesen. Am Schlusse des später folgenden II. Teils dieser Arbeit, der die ganztägige und halbtägige Luftdruckschwankung noch einmal behandeln wird, gebe ich vielleicht ausführlichere Hinweise auf das Beobachtungsmaterial. Die Tabellen des täglichen Ganges des Luftdruckes in Form von Abweichungen der Stundenmittel vom Monatsmittel der hier übergangenen Stationen, welche zu meiner Berechnung der dritteltägigen Druckwelle gedient haben, findet man in meinen und Angot's schon zitierten Abhandlungen.

Monte Video, Rosario (Fisherton), Kimberley, Johannesburg, Sao Paulo, Mangarewa, Rio de Janeiro, Mauritius, Mollendo, Arequipa, St. Helena, Samoa, S. Paul de Loanda, Ascension, Daressalam, Batavia, Quixeramobim, Tabora, Kwai, Fernando Noronha, Ukerewe, Para, Quito, siehe Meteor. Zeitschrift und Sitzungsberichte der kais. Akademie.

Buenos Aires neu, ganz von mir berechnet, auch die Abweichungen, nach den Anales de la Oficina Met., Argentina 4 bis 5 Jahre. Cordoba ebenda, Tomo XII Clima de Cordoba, Buenos Aires 1900, T. IX, 1893, detto, 2 Beobachtungsreihen vereinigt, eine fünf- und eine sechsjährige 1887/92 und 1894/98. Die älteste Beobachtungsreihe, die ich in meiner ersten Abhandlung benützt habe, ebenso Angot, ist unbrauchbar, gibt falsche Phasenzeiten und zu kleine Amplituden, dagegen liefern die neueren Registrierungen auffallend große Amplituden. Santiago de Chile, 1811 bis 1815, Jahrbücher des Instituto Central Meteorologico y Geofisico de Chile. Enthält die Stundenmittel des Luftdruckes dieser 5 Jahre, die erst kopiert wurden. Der letzte Jahrgang 1815 wurde mir von Herrn Direktor Knoche gütigst handschriftlich mitgeteilt. Sydney, Results of Met. Obs. made in New South Wales during 1901/1905, 5 Jahre, ganz neu berechnet (dann auch die A_1 und a_1 und A_2 und a_2 mit einer älteren Reihe bei Buchan, Challenger, Report, von mir berechnet, vereinigt).

Boroma, von Fényi berechnet (Met. Zeitschr., 1911, p. 457). Aden, Ind. Met. Mem. Vol. V. Manila, 1887/98, ganz neu gerechnet nach Report of the Philippine Commission to the President, Vol. IV. Washington 1901, p. 138. Port au Prince, 6 Jahre, von mir neu gerechnet nach den einzelnen Stundenmitteln in den Annales du Bureau Central. Tonkin, Le Cadet. Observ. mét. faites à l'Observ. Central de l'Indochine, Phu Lien, 1911. Hongkong, neuere Reihe, 1885/93, nach Bergholz, mitgeteilt in Met. Z., 1899, p. 320.

Japanische Stationen.

Japan. Harmonic Analysis of the hourly Observations of the Barometric Pressure in Japan by T. Okada. The Bulletin of the Central Met. Observatory of Japan Nr. 2. Tokio 1909. Enthält die Konstanten A_1, A_2, A_3, A_4 und a_1, a_2, a_3, a_4 von 9 Stationen. Die Zeit ist »Central Japan time«, das ist die des Meridians 135° E, ausgenommen Taihoku auf Formosa, wo die Westjapan Zeit gilt, das ist die von 120° E. Ich habe daher die Phasenzeiten nach den angegebenen Längendifferenzen auf mittlere Lokalzeit reduziert und daneben die Abweichungen der Stundenmittel von den Monatsmitteln, die erst berechnet werden mußten, aber nur von jenen Stationen gebildet, wo die Stundenmittel nahezu für eine volle Stunde Ortszeit gelten. Über die Lage der Sationen wird folgendes bemerkt. Taihoku 25° 2′ N, 121° 30′ E, 9·3 *m*, liegt im nördlichen Teil von Formosa; das Klima ist mehr kontinental als insular. Kumamoto liegt im westlichen Teil von Kiushiu (32° 49′ N, 130° 42′ E, 39·2 *m*), nur wenige Kilometer von der Westküste. Matsuyama liegt im Nordwesten von Shikoku, wenige Kilometer von der Küste des Inlandmeeres (33° 50′ N, 132° 45′ E, 37·4 *m*). Osaka liegt an der Mündung des Flusses Yodo, der in die Inlandssee fließt (34° 42′ N, 135° 31′ E, 5·6 *m*). Nagoya liegt an der pazifischen Küste (35° 10′ N, 136° 55′ E, 15·2 *m*). Tokyo liegt am Ufer des gleichnamigen Golfes (35° 41′ N, 139° 45′ E, 21·3 *m*). Hakodate (41° 46′ N, 140° 44′ E, 3 *m*), liegt an der Bai von Hakodate im Südwesten von Hokkaido. Sapporo (43° 4′ N, 141° 21 E, 17 *m*), liegt im Tal des Flusses Ishikari in West-Hokkaido, in etwa 25 *km* Entfernung von der Küste der Japan-See. Nemuro (43° 20′ N,

145° 35′ E, 27 *m*), liegt an der gleichnamigen Bai im östlichen Hokkaido. Die Orte Taihoku, Kumamoto, Matsuyama und Sapporo liegen in der Ebene, die andern an der Küste.

Die zitierte Abhandlung des Herrn T. Okada liefert einen sehr schätzbaren Beitrag zur Kenntnis der täglichen periodischen Luftdruckschwankung. Die neun berechneten Stationen haben einen Breitenunterschied von 18°3 und einen Längenunterschied von 24°. Hätten wir doch von den Vereinigten Staaten von Amerika eine ähnliche Arbeit! Material dazu wäre vorhanden, aber die Berechnung desselben fehlt.

Amerikanische Stationen.

Washington, siehe Bennett, Monthly Weather Rev. 1906. Ärgerliche Eigenbrödelei hier wie an einigen anderen Orten (Cordoba zum Beispiel). Es werden nicht die Phasenwinkel, sondern die Zeit des Eintrittes des ersten Maximums angegeben, bei der dritteltägigen Schwankung besonders unangehm, da man zurückrechnen muß. Man kann ja doch nur die Phasenwinkel brauchen, sowohl zu Vergleichen wie zum Rechnen!

San Francisco, St. Louis, Neu Orleans, Minnesota (Mittel von 3 Stationen),*) alle vollständig neu von mir berechnet. Die Stundenmittel der 5 Jahre, 1898/1902 ausgezogen, die Abweichungen gebildet und gemittelt. Da es sich dabei gezeigt hat, daß fünfjährige Mittel im nördlichen Teile der Union noch großen Störungen unterliegen (die genannten Orte liegen zumeist auf einer stark frequentierten Zugstraße der Barometerminima), so wurden sie mit älteren, etwa fünfjährigen Mitteln vereinigt, welche W. Greely (Chief Signal Officer U. S. Army) mitteilt: Diurnal fluctuations of Amospheric Pressure at Twenty-nine selected stations in the United States, Washington 1891. Über diese Mittel wird im zweiten Teile dieser Abhandlung noch mehr zu sagen sein. Sie sind z. Th. in den Nachtstunden graphisch ausgeglichen worden. Diese Stundenmittel gelten für Lokalzeit, die früher zitierten neueren für die Zeit des 75. Meridians. Eine Vereinigung beider Reihen war deshalb nur für jene Stationen tunlich, wo die Zeitdifferenz zwischen Lokalzeit und Zeit des 75. Meridians sehr nahe eine volle Stunde beträgt, die Zonenzeit wirkt hier außerordentlich störend.

Rohes Material zu einer Darstellung des täglichen Ganges des Luftdruckes läge für die Union jetzt in genügender Menge vor. Aber ein einzelner kann sich um ihre Berechnung nicht annehmen. Bisher bildeten deshalb die Vereinigten Staaten eine große Lücke in unseren Kenntnissen über den täglichen Gang des Luftdruckes. Ein wenig behoben wird nun dieser Mangel von mir durch Berechnung der oben genannten Stationen. Von Kanada fehlen gleichfalls die Angaben über den täglichen Gang des Luftdruckes fast ganz, das wenige, was vorhanden, ist nicht berechnet. Toronto ist, wie sich auch Angot überzeugt hat, kaum zu verwenden.

Die englischen Stationen: Valentia, Kew, Falmouth, Glasgow, Aberdeen nach: Harmonic Analysis of hourly Observations of Air-Temperatur and Pressure at the British Observatories' Published by Direction of the Met. Council. London 1891. Enthält schon die Konstanten p_1, q_1, p_2, q_2, p_3, q_3, p_4 und q_4 für die Monate von 7 Stationen, und zwar für jedes einzelne Jahr 1871 bis 1882 und die Mittel dieser 12 Jahre. — Bukarest, 10 Jahre, nach einer sehr gefälligen Mitteilung der Stundenmittel des Luftdruckes von Coalescu, Direktor des Astr. und Met. Observatoriums daselbst. — Belgrad. Von Prof. Dr. Conrad berechnet, 10 Jahre, siehe Met. Z., 1917, S. 89. — Warschau. Viktor Ehrenfeucht, Über den täglichen Gang der meteorol. Elemente in Warschau. 1893/98 in russischer Sprache. Der Autor hat mir in dankenswerter Weise die Köpfe aller Tabellen auch deutsch überschrieben. — Potsdam, nach Brückmann, siehe meteorol. Zeitschr. 1907, p. 470. — Irkutsk, ganz von mir berechnet nach den russischen Annalen, 8 Jahre (1887 bis 1894). — Moskau, nach Leyst: Über den täglichen Gang des Luftdruckes in Moskau, 1893/99. Enthält auch die Konstanten des täglichen Ganges, und zwar von 12 Gliedern! Dieselbe Abhandlung enthält auch die Konstanten des täglichen Ganges für Petersburg, 1871/90, gleichfalls bis zum 12. Gliede.

Die norwegischen Stationen: Kristiania, Bergen, Dovre, Trondtjem hat Birkeland berechnet siehe Met. Zeitschr. 1906, p. 540 bis 546.

*) Duluth, Marquette, S. Paul, letzterer Station das doppelte Gewicht gegeben.

Die Konstanten des ganz- und halbtägigen Ganges des Luftdruckes auf der südlichen Halbkugel.

	A_1	A_2	a_1	a_2	A_1	A_2	a_1	a_2	A_1	A_2	a_1	a_2
	I. Hobarton 42° 52' S, 147° 47' E, 32 *m*, 8 Jahre, 1841/48, stündlich				**III. Kapstadt** 34° 56' S, 18° 27' E, 5 Jahre (1841/46) stündlich				**XXI. St. Helena** 15° 57 S, 5° 41' W, 538 *m*, 5 Jahre, (1843/47), stündlich			
Jänner	45°2	175·3	·270	·498	273·7	155·6	·032	·490	313·4	156·6	·256	·795
Februar	31·5	165·1	·404	·514	334·0	152·7	·100	·510	329·0	147·7	·292	·798
März	33·1	165·9	·360	·557	345·8	156·1	·237	·492	332·2	148·3	·223	·850
April	28·7	167·8	·346	·520	320·1	160·3	·122	·477	331·8	151·4	·274	·833
Mai	30·9	174·9	·106	·460	0·4	164·5	·212	·484	328·7	152·5	·199	·771
Juni	22·5	171·6	·084	·446	331·7	163·6	·082	·487	318·1	151·7	·101	·692
Juli	51·9	169·8	·106	·485	341·7	159·8	·200	·482	329·4	151·3	·055	·680
August	38·5	164·5	·288	·517	352·2	163·9	·145	·520	330·2	151·4	·084	·745
September	54·4	175·8	·379	·564	334·4	167·2	·194	·536	17·8	151·8	·049	·812
Oktober	63·3	180·5	·357	·550	359·8	169·3	·094	·540	277·6	155·1	·092	·836
November	66·1	178·5	·525	·510	22·2	168·0	·041	·502	304·6	157·7	·203	·836
Dezember	60·4	177·9	·363	·440	0·6	158·6	·079	·503	314·5	154·8	·237	·806
Jahr	47·0	172·0	·291	·505	344·3	161·8	·122	·502	322·1	157·7	·166	·788
	II. Melbourne 37° 49' S, 144° 58' E, 37 *m*, 5 Jahre (1858/63) stündlich				**XVIII. Mauritius** 20° 6' S, 58° 2' E, 55 *m*, 12 Jahre (1875/86), stündlich				**XXII. Port Darwin** 12° 28' S, 130° 51' E, 21 *m*, 3 Jahre, 3stündig			
Jänner	12·3	161·4	·338	·577	47·2	161·5	·290	·706	354·0	167·9	·534	·852
Februar	6·6	161·7	·312	·579	60·7	157·8	·250	·747	13·8	161·3	·531	·912
März	97·1	167·8	·290	·640	53·1	159·3	·226	·766	6·1	161·3	·720	·925
April	8·4	161·9	·290	·546	54·0	163·7	·268	·744	15·2	166·4	·689	·941
Mai	32·4	171·1	·206	·500	44·6	165·2	·261	·740	3·4	170·6	·638	·970
Juni	14·5	166·4	·203	·503	44·2	162·6	·267	·702	7·9	166·6	·817	·875
Juli	357·7	168·8	·104	·533	35·7	160·1	·310	·711	4·9	161·0	·971	·913
August	8·5	166·1	·287	·538	40·3	161·4	·318	·731	3·4	158·0	·985	·904
September	19·4	168·2	·396	·546	42·3	166·8	·427	·781	359·0	161·6	·948	1·044
Oktober	7·8	171·6	·343	·597	46·1	170·0	·413	·798	2·4	167·5	·973	·975
November	24·4	174·2	·272	·612	49·5	170·1	·360	·743	3·2	169·0	·870	·932
Dezember	19·5	165·3	·348	·574	49·5	165·5	·274	·700	356·8	166·5	·598	·893
Jahr	15·0	167·4	·254	·561	46·6	163·7	·308	·739	2·4	164·9	·768	·926

	A_1	A_2	a_1	a_2	A_1	A_2	a_1	a_2	A_1	A_2	a_1	a_2
	XXXI. Fernando Noronha 3° 50' S, 32° 25' W, 95 *m*, 2 Jahre, stündlich				XXXIII. Pará (Belem) 1° 27' S, 48° 29' W, 10 *m*, 3 Jahre, 2stündig				XXXIV. Quito 0° 14' S, 78° 50', 2850 *m*, 2 Jahre, stündlich			
Jänner	60·0	148°0	·111	·762	2·4	152·8	·552	·868	33·4	158·6	·649	·853
Februar	41·7	141·2	·157	·815	3·4	149·6	·531	·883	28·9	155·6	·617	·906
März	71·2	146·8	·193	·889	11·7	156·0	·626	·966	29·0	155·0	·666	·925
April	35·8	151·4	·195	·879	19·5	151·1	·666	·958	31·6	158·8	·630	·886
Mai	56·6	149·4	·102	·920	25·2	148·9	·658	·958	35·8	163·2	·546	·820
Juni	37·0	151·2	·163	·825	18·5	144·7	·770	·877	39·5	155·4	·570	·757
Juli	44·7	147·6	·152	·740	17·3	142·5	·747	·857	38·9	154·4	·593	·719
August	5·6	148·3	·265	·803	6·2	141·2	·734	·877	44·8	154·2	·678	·819
September	19·5	149·5	·296	·862	358·5	142·7	·703	·957	41·2	159·0	·732	·881
Oktober	17·2	152·8	·271	·840	352·4	149·1	·707	·948	37·5	166·7	·729	·925
November	15·2	157·9	·190	·828	350·1	151·4	·783	·897	38·1	166·8	·700	·924
Dezember	352·9	161·3	·024	·846	355·7	148·9	·760	·877	33·5	162·0	·640	·900
Jahr	29·5	150·4	·164	·831	6·6	148·3	·673	·907	36·0	159·1	·646	·860

	p_1	q_1	p_2	q_2	A_1	A_2	a_1	a_2	A_1	A_2	a_1	a_2
	VI. Sydney 33° 51' S, 151° 11' E, 45 *m*, 5 Jahre (1891/5)								Sydney 10 Jahre (I und II)			
Jänner	·074	·241	·190	— ·527	17°1	160·2	·252	·560	5·6	160·7	·292	·585*
Februar	·006	·236	·238	— ·502	1·5	154·6	·236	·555*	2·2	155·2	·222	·586
März	·053	·199	·236	— ·507	345·1	155·3	·206*	·559	353·8	158·3	·240	·601
April	·060	·266	·202	— ·551	12·6	159·9	·272	·587	10·2	163·2	·270	**·611**
Mai	·024	·248	·194	— ·564	5·5	161·1	·249	**·596**	24·5	168·2	·299	·593
Juni	·185	·295	·070	— ·507	32·1	172·1	·348	·512*	30·8	172·4	·350	·554*
Juli	·141	·280	·163	— ·502	26·7	162·0	·313	·527	27·0	163·4	·372	·581
August	·180	·330	·187	— ·591	28·6	162·4	·376	·620	30·0	164·9	·485	·665
September	·258	·372	·166	— ·615	34·7	164·9	**·452**	·637	32·2	165·8	·506	·690
Oktober	·093	·264	·243	— ·650	19·4	159·5	·280	**·694**	21·6	164·0	·457	**·701**
November	·184	·393	·170	— ·593	25·1	164·0	·434	·617	32·8	169·0	·461	·631
Dezember	·117	·406	·198	— ·564	16·1	160·7	·422	·597	22·3	163·6	·488	·612
Jahr	·106	·294	·188	— ·556	17·9	161·4	·320	·588	19·4	164·1	·370	·617·5

	p_1	q_1	p_2	q_2	A_1	A_2	A_3	a_1	a_2	a_3
IV. Montevideo 34° 52' S. 56° 12' W, 129 *m*. 10 Jahre (1901/1910)										
Jänner	—·183	·396	·214	—·300	335·5	144·5	142·0	·436	·367	·110
Februar	—·163	·298	·232	—·330	331·3	144·9	123·1	·340	·403	·089
März	—·173	·402	·226	—·330	336·7	145·6	72·5	·438	·400	·035
April	—·061	·315	·183	—·360	349·0	153·0	20·1	·321	·404	·079
Mai	—·008	·344	·168	—·338	358·7	153·6	4·7	·344	·377	·134
Juni	—·005	·292	·173	—·344	359·0	153·3	359·5	·292	·385	·143
Juli	·037	·250	·208	—·398	8·4	152·4	1·7	·252	·449	·138
August	·035	·286	·190	—·401	7·0	154·6	357·9	·288	·444	·114
September	—·014	·330	·156	—·441	357·6	160·5	39·4	·331	·468	·054
Oktober	—·060	·343	·135	—·400	350·1	161·4	118·8	·348	·422	·046
November	—·106	·415	·120	—·372	345·7	162·1	155·2	·428	·391	·086
Dezember	—·080	·356	·193	—·351	347·3	151·2	153·2	·365	·401	·124
Jahr	—·065	·336	·183	—·364	349·0	153·3	46·4	·341	·407	·043
V. Buenos Aires 34° 37' S. 58° 22' W, 20 *m*, 4—5 Jahre (1891/95)										
Jänner	—·230	·707	·204	—·385	342·0	152·1	181·1	·743	·436	·105
Februar	—·192	·698	·245	—·421	344·6	149·8	150·5	·723	·487	·087
März	—·173	·652	·253	—·465	345·1	151·4	68·6	·675	·529	·030
April	·132	·430	·195	—·405	342·9	154·3	8·7	·450	·449	·070
Mai	—·029	·358	·140	—·390	355·4	160·3	7·1	·360	·414	·129
Juni	·041	·330	·148	—·394	7·1	159·4	13·8	·333	·421	·126
Juli	·098	·288	·151	—·417	18·8	160·1	358·0	·304	·443	·143
August	·014	·394	·200	—·421	2·0	154·6	358·2	·395	·466	·095
September	·019	·545	·162	—·447	2·0	160·1	8·5	·547	·475	·061
Oktober	·078	·542	·130	—·462	351·8	164·3	276·3	·547	·469	·018
November	—·162	·590	·143	—·412	344·6	160·9	183·4	·611	·436	·068
Dezember	·222	·750	·190	—·400	343·5	154·6	170·1	·782	·443	·117
Jahr	·087	·524	·180	—·418	350·6	156·7	27·8	·544	·455	·025

	p_1	q_1	p_2	q_2	A_1	A_2	A_3	a_1	a_2	a_3
	VIII. Rosario (Fisherton) 32° 6' S, 60° 38' W, 28 *m*, 7 Jahre (1891/97)									
Jänner	— ·021	·857	·180	·523	358·6	·161.0	178·3	·857	·553	·134
Februar	·098	·787	·232	·531	352·9	·156.4	168·6	·793	·579	·096
März	— ·008	·814	·176	·568	359·4	·162.8	188·5	·814	·594	·020
April	— ·031	·574	·153	·530	356·9	·163.9	17·0	·574	·552	·102
Mai	·062	·358	·153	·530	9·8	·163.9	28·0	·363	·552	·141
Juni	·073	·446	·127	·520	0·9	·166.3	17·9	·446	·535	·169
Juli	·094	·368	·200	·530	14·3	·156.3	15·0	·380	·566	·178
August	·055	·534	·222	·581	5·9	·159.1	6·0	·537	·622	·134
September	·036	·735	·170	·573	2·8	·163.5	13·1	·736	·598	·084
Oktober	·019	·787	·164	·602	1·4	·164.8	130·5	·787	·624	·045
November	— ·039	·764	·144	·516	357·1	·164.4	225·8	·765	·536	·105
Dezember	— ·102	·981	·182	·505	354·1	·160.2	171·4	·986	·537	·148
Jahr	·003	·667	·175	·542	0·1	·162·1	36·5	·667	·570	·029
	XXIII. Samoa-Observatorium*) 13° 48' S, 171° 46' W, 3 *m*, 4 Jahre									
Jänner	·207	·421	·053	— ·714	18·7	160·8	112·1	·465	·716	·108
Februar	·200	·435	·128	— ·725	17·2	155·0	101·2	·479	·736	·072
März	·182	·487	·112	— ·769	13·0	156·7	55·8	·520	·777	·084
April	·155	·492	·122	— ·750	10·0	155·8	26·7	·515	·760	·067
Mai	·114	·508	·105	— ·748	5·2	157·0	5·5	·520	·755	·106
Juni	·080	·488	·107	— ·690	1·6	156·2	0·2	·494	·698	·112
Juli	·053	·490	·108	— ·686	358·0	156·1	3·2	·493	·694	·090
August	·071	·490	·096	— ·733	0·8	157·5	22·4	·495	·738	·064
September	·075	·496	·073	— ·760	1·1	159·5	44·5	·501	·763	·100
Oktober	·120	·438	·052	— ·747	7·8	161·0	77·6	·454	·748	·074
November	·180	·420	·029	— ·754	15·7	164·2	98·9	·457	·754	·100
Dezember	·205	·407	·024	— ·693	19·2	163·0	108·5	·456	·693	·091
Jahr	·137	·464	·086	— ·731	9·0	158·6	76·8	·484	·736	·066

*) Die p und q gelten für $x = 0\,{}^1/_2$ u. s. w. Die Mittel sind für Stunden Integralwerte berechnet worden, nicht für Stunden. Die A_1, A_2, A_3 auf $x = 0$ Mittn. red.

	p_1	q_1	p_2	q_2	A_1	A_2	A_3	a_1	a_2	a_3
	XXVI. Daressalam 6° 49' S, 39° 18' E, 14 *m*, 12 Jahre									
Jänner	— ·175	·756	·350	— ·708	343·7	153·7	145·4	·787	·790	·034
Februar	— ·179	·778	·407	— ·719	347·1	150·5	127·4	·798	·830	·021
März	— ·171	·714	·404	— ·757	346·5	151·9	45·0	·732	·860	·031
April	— ·090	·503	·340	— ·785	349·8	156·6	47·6	·511	·855	·047
Mai	— ·080	·370	·280	— ·767	347·8	160·0	29·4	·378	·817	·041
Juni	— ·141	·408	·260	— ·748	340·9	160·8	32·3	·432	·793	·043
Juli	— ·118	·354	·314	— ·703	341·6	155·9	23·9	·372	·770	·047
August	— ·152	·454	·328	— ·756	341·5	156·6	24·1	·479	·824	·047
September	— ·211	·522	·268	— ·847	338·0	162·3	35·8	·562	·889	·053
Oktober	— ·246	·667	·217	— ·826	340·2	165·3	50·9	·708	·854	·074
November	— ·164	·705	·186	— ·762	346·9	166·3	104·1	·724	·784	·028
Dezember	— ·162	·740	·265	— ·736	345·9	160·2	166·7	·763	·782	·039
Jahr	— ·157	·581	·302	— .7595	344·2	158·3	45·9	·604	·821	·033
	XXVII. Batavia 6° 11' S, 106° 50' E, 8 *m*, 40 Jahre (1866/1905)									
Jänner	·157	·514	·392	— ·918	17·0	156·9	203·8	·537	·998	·010
Februar	·160	·540	·447	— ·906	16·5	153·8	332·6	·562	1·009	·006
März	·237	·564	·428	— ·940	21·4	155·5	354·7	·606	1·033	·052
April	·298	·526	·374	— ·960	29·5	158·7	5·1	·604	1·030	·073
Mai	·300	·518	·343	— ·920	30·1	159·6	350·4	·598	·982	·092
Juni	·314	·518	·330	— ·852	31·2	158·8	25·8	·605	·914	·067
Juli	·310	·610	·358	— ·836	26·9	156·8	28·8	·682	·910	·065
August	·322	·680	·361	— ·910	25·3	157·9	34·0	·752	·982	·059
September	·315	·730	·292	— ·998	23·4	163·7	46·1	·794	1·040	·049
Oktober	·343	·628	·231	— 1·024	28·6	167·3	34·6	·715	1·050	·034
November	·280	·515	·225	— 1·020	28·5	167·6	5·0	·586	1·044	·023
Dezember	·217	·467	·321	— ·914	24·9	161·6	5·7	·515	1·016	·005
Jahr	·271	·5675	·342	— ·933	25·5	159·9	16·1	·629	·994	·040

	p_1	q_1	p_2	q_2	A_1	A_2	A_3	a_1	a_2	a_3
					XXVIII. Quixeramobim 5° 16' S, 3° 55' E, 207 *m*, 10 Jahre					
Jänner	— ·102	1·262	·768	— ·745	355·4	134·1	153·8	1·265	1·064	·081
Februar	— ·043	1·043	·773	— ·740	357·6	133·8	146·3	1·044	1·070	·050
März	— ·002	0·950	·902	— ·772	0·1	130·6	186·6	·950	1·187	·010
April	·037	0·870	·717	— ·823	2·4	138·9	19·1	·871	1·091	·025
Mai	·070	0·890	·618	— ·843	4·5	148·7	40·3	·892	·986	·043
Juni	·064	1·004	·600	— ·748	3·7	141·3	17·3	1·006	·959	·047
Juli	·007	1·125	·618	— ·746	0·5	140·4	347·3	1·125	·968	·041
August	— ·071	1·320	·678	— ·769	356·9	138·6	358·7	1·321	1·025	·045
September	— ·063	1·485	·714	— ·914	357·6	141·0	86·4	1·486	1·243	·048
Oktober	·008	1·565	·610	— ·994	0·4	148·5	131·5	1·565	1·166	·069
November	— ·012	1·440	·631	— ·914	359·5	145·4	161·1	1·440	1·110	·084
Dezember	— ·045	1·332	·674	— ·858	358·1	141·8	157·3	1·332	1·090	·105
Jahr	— ·013	1·190	·692	— ·822	359·6	139·9	121·1	1·190	1·074	·025

	A_1	A_2	a_1	a_2	a_2 ber.	A_1	A_2	a_1	a_2	a_2 ber. u. red.
	XXIV. San Paulo de Loanda 8° 49' S, 13° 7' E, 59 *m*, 6½ Jahre.					XXV. Ascension 7° 55' S, 14° 25 W, 16 *m*, 2 Jahre 1863/65)				
Jänner	7·6	149·4	1·029	·824	·839	23·0	157·7	·401	·660	·803
Februar	7·9	145·9	1·110	·845	·876	27·0	151·7	·379	·724	·878
März	11·5	149·8	1·071	·939	·917	37·4	159·0	·410	·797	·953
April	14·4	156·7	1·074	·942	·916	24·2	157·6	·401	·787	·957
Mai	16·0	156·8	·902	·827	·871	25·7	157·4	·284	·738	·886
Juni	15·7	158·1	·915	·816	·820	17·6	155·2	·238	·668	·809
Juli	14·5	153·6	1·816	·827	·809	344·5	150·4	·167	·663	·797
August	15·2	157·1	1·023	·854	·843	336·9	153·0	·152	·700	·856
September	17·1	160·5	1·061	·880	·889	11·1	162·0	·230	·719	·921
Oktober	16·1	160·8	1·026	·886	·901	22·2	167·3	·188	·769	·923
November	12·5	154·4	1·045	·891	·873	14·0	165·9	·303	·686	·860
Dezember	11·4	150·9	1·047	·860	·838	16·1	162·9	·314	·648	·797
Jahr	13·4	154·5	1·019	·860	·866	18·9	158·3	·284	·713	·870

	A_1	A_2	a_1	a_2 ber.	a_2 red.	A_1	A_2	a_1	a_1 ber.	a_2 red.
	XXIX. Tabora 5° 1' S, 32° 49' E, 1200 *m*, 10 Jahre, stündlich					**XXXII. Ukerewe** 2° 0' S, 33° 2 E, 1200 *m*, 8 Jahre, stündlich				
Jänner	355·7	161·4	·773	·713	·824	334·6	157·0	·897	·819	·942
Februar	356·3	158·8	·751	·740	·855	333·1	152·8	·940	·874	1·005
März	355·9	157·7	·780	·755	·873	337·5	148·3	·914	·940	1·081
April	355·2	156·9	·680	·732	·846	341·8	147·3	·820	·941	1·082
Mai	346·5	160·9	·696	·676	·781	333·8	143·7	·755	·861	·990
Juni	342·1	160·0	·660	·624	·721	328·3	144·2	·720	·764	·858
Juli	343·1	159·3	·724	·611	·706	327·3	143·5	·740	·733	·842
August	344·8	166·1	·839	·642	·741	326·8	145·1	·771	·791	·910
September	343·4	164·9	1·026	·687	·794	326·8	147·6	·886	·882	1·014
Oktober	346·6	165·1	1·063	·714	·825	329·9	149·2	·928	·924	1·063
November	352·4	161·6	1·120	·712	·823	335·4	146·5	·864	·890	1·023
Dezember	353·7	157·5	·874	·704	·813	337·6	149·3	·802	·831	·955
Jahr	349·8	160·8	·827	·693	·801	332·9	147·9	·834	·854	·981

	A_1	A_2	a_1	a_2	a_2 ber. u. rev.	A_1	A_2	A_3	a_1	a_2	a_3
	XXX. Kwai 4° 45' S, 38° 18' E, 1610 *m*, 3 Jahre, stündlich					**XVII. Rio de Janeiro** 22° 57' S, 43° 7' W, 3 Jahre (1886/89), stündlich					
Jänner	337·2	144·0	·441	·638	·808	20·6	158·2	157·6	·423	·817	·068
Februar	344·7	137·7	·514	·676	·864	30·1	151·4	141·8	·443	·886	·060
März	336·5	146·1	·441	·759	·911	35·5	152·9	341·6	·409	·833	·044
April	345·7	148·5	·357	·742	·894	26·2	158·7	0·2	·540	·848	·110
Mai	335·3	147·6	·265	·666	·828	30·3	158·7	13·9	·390	·825	·157
Juni	322·6	155·4	·261	·644	·777	23·3	161·6	9·2	·253	·720	·113
Juli	311·3	153·5	·259	·620	·798	5·5	149·0	355·3	·482	·807	·184
August	311·8	153·2	·267	·696	·874	10·5	154·1	20·8	·480	·819	·160
September	318·5	153·0	·364	·761	·939	36·2	159·8	50·2	·389	·923	·093
Oktober	325·8	151·0	·422	·705	·932	27·5	164·2	62·1	·454	·876	·060
November	333·5	154·0	·452	·698	·866	37·7	166·1	147·2	·470	·823	·070
Dezember	336·2	148·5	·444	·654	·806	29·7	160·4	161·6	·503	·764	·057
Jahr	332·2	149·0	·368	·687	·858	28·0	157·5	27·9	·402	·827	·058

	p_1	q_1	p_2	q_2	A_1	A_2	A_3	a_1	a_2	a_3	a_2 red. 760/716
	VII. Santiago de Chile 33° 27' S, 70° 42' W, 519 *m*, 5 Jahre (1911/15)										
Jänner	— ·063	·318	·144	— ·490	348·8	163·3	184·9	·324	·512	·163	·543
Februar	— ·088	·266	·146	— ·475	341·7	162·9	201·4	·280	·497	·090	·527
März	— ·012	·143	·152	— ·499	355·2	163·4	239·4	·144	·522	·026	·553
April	·050	·190	·091	— ·466	14·7	168·5	14·3	·196	·475	·054	·504
Mai	·098	·115	·050	— ·462	40·4	173·8	30·8	·151	·465	·133	·493
Juni	·055	·121	·078	— ·440	24·5	169·9	22·4	·133	·447	·160	·474
Juli	— ·008	·108	·088	— ·440	355·8	168·8	5·3	·108	·449	·141	·476
August	·016	·095	·068	— ·504	9·6	172·3	24·1	·096	·509	·103	·540
September	·028	·135	·007	— ·502	11·7	179·2	50·9	·138	·502	·041	·532
Oktober	·039	·158	·016	— ·482	13·9	178·1	201·3	·163	·482	·044	·511
November	·193	·268	·025	— ·485	35·8	177·1	206·2	·330	·485	·127	·514
Dezember	·064	·274	·066	— ·447	13·1	171·6	196·6	·281	·452	·182	·479
Jahr	·031	·183	·078	— ·474	9·8	170·7	15·3	·186	·480	·011	·512

	p_1	q_1	p_2	q_2	A_1	A_2	A_3	a_1	a_2	a_3	a_2 760/742
	IX. Cordoba 31° 25' S, 64° 12' W, 437 *m*, 11 Jahre (1887/92 und 1894/98)										
Jänner	·037	·832	·416	— ·523	2·6	141·5	161·3	·832	·668	·174	·684
Februar	·045	·786	·467	— ·492	3·3	136·5	153·4	·787	·678	·105	·694
März	·175	·718	·398	— ·553	13·7	144·3	159·4	·740	·681	·026	·697
April	·222	·513	·314	— ·590	23·4	152·0	8·8	·588	·668	·069	·684
Mai	·194	·371	·294	— ·622	27·6	154·7	350·3	·419	·688	·122	·705
Juni	·264	·300	·268	— ·622	41·4	156·7	352·9	·400	·677	·179	·693
Juli	·287	·404	·313	— ·679	35·4	155·3	352·5	·496	·747	·176	·765
August	·375	·552	·382	— ·735	34·2	152·5	351·8	·668	·828	·136	·848
September	·368	·763	·360	— ·776	26·0	155·1	0·4	·849	·855	·048	·875
Oktober	·308	·830	·314	— ·738	20·4	156·9	182·0	·885	·802	·058	·821
November	·125	·932	·263	— ·627	7·6	157·3	176·8	·940	·680	·141	·697
Dezember	·061	·900	·382	— ·586	3·9	146·8	167·8	·900	·697	·189	·714
Jahr	·205	·658	·348	— ·629	17·3	151·6	54·5	·689	·719	·009	

	p_1	q_1	p_2	q_2	A_1	A_2	A_3	a_1	a_2	a_3	a_2 red. 760/618
XI. Johannesburg 26° 12' S, 28° 4' E, 1806 *m*, 6 Jahre, Reduktion auf Lokalzeit —8 Minuten											
Jänner	— ·065	·480	·336	— ·490	352·3	145·6	169·3	·484	·594	·108	·730
Februar	— ·058	·447	·342	— ·442	352·6	142·3	162·7	·451	·559	·047	·687
März	— ·086	·381	·335	— ·482	347·3	145·2	6·6	·391	·587	·026	·722
April	— ·045	·268	·287	— ·514	350·5	150·8	347·9	·272	·589	·086	·724
Mai	·005	·180	·253	— ·525	361·6	154·3	351·7	·180	·583	·152	·717
Juni	— ·005	·200	·260	— ·514	358·6	153·2	348·6	·200	·576	·171	·708
Juli	— ·076	·264	·294	— ·488	343·9	148·9	347·5	·274	·570	·157	·701
August	— ·053	·300	·292	— ·547	350·0	151·9	350·3	·305	·619	·130	·761
September	— ·006	·362	·281	— ·622	359·1	155·7	22·3	·366	·683	·071	·840
Oktober	·019	·495	·261	— ·606	362·2	156·7	4·8	·496	·660	·012	·812
November	— ·031	·455	·293	— ·576	356·0	153·1	165·2	·456	·646	·094	·794
Dezember	— ·098	·478	·303	— ·478	348·4	147·6	183·1	·488	·566	·104	·696
Jahr	— ·042	·359	·295	— ·524	353·5	150·4	355·3	·364	·603	·036	·741
	p_1	q_1	p_2	q_2	A_1	A_2	A_3	a_1	a_2	a_3	a_2 760/687
XII. Curityba. 25° 26' S, 49° 16' W, 908 *m*, 16jähr. Mittel 1890/1905											
Jänner	·114	·390	·307	— ·658	16·3	145·0	191·5	·406	·726	·115	·803
Februar	·113	·403	·371	— ·642	15·7	140·0	167·9	·418	·741	·086	·820
März	·107	·454	·337	— ·663	13·3	153·0	170·7	·467	·744	·014	·823
April	·088	·312	·244	— ·637	15·8	159·0	20·7	·324	·682	·079	·754
Mai	·135	·352	·228	— ·654	21·0	160·8	11·5	·377	·694	·141	·768
Juni	·120	·329	·218	— ·614	20·0	160·5	5·3	·350	·652	·163	·721
Juli	·113	·401	·260	— ·622	15·7	157·3	358·2	·417	·674	·162	·745
August	·155	·310	·280	— ·654	26·6	156·8	3·3	·347	·711	·140	·786
September	·109	·330	·220	— ·706	18·1	162·7	30·5	·352	·740	·085	·818
Oktober	·097	·358	·180	— ·693	15·2	165·4	138·2	·371	·715	·025	·791
November	·113	·432	·210	— ·667	14·7	162·5	179·3	·447	·700	·069	·774
Dezember	·153	·432	·280	— ·660	19·5	157·0	179·0	·458	·717	·117	·793
Jahr	·118	·375	·261	— ·657	17·6	158·4	126·2	·393	·707	·026	·783

	p_1	q_1	p_2	q_2	A_1	A_2	A_3	a_1	a_2	a_3	a_2 korr.
XIX. Mollendo 17° 5' S, 73° 0' W, 24 *m*, 4 Jahre (März 1892 bis Dezember 1895)											
Jänner	·533	·270	·133	— ·703	63·1	169·3	193·6	·597	·716	·085	·954
Februar	·556	·274	·220	— ·700	64·0	162·6	196·8	·618	·733	·079	·977
März	·450	·283	·204	— ·667	57·8	163·0	250·0	·530	·697	·035	·930
April	·421	·315	·248	— ·614	53·2	158·0	312·6	·526	·662	·050	·883
Mai	·411	·323	·250	— ·587	61·9	156·9	330·8	·522	·638	·106	·851
Juni	·276	·316	·203	— ·583	41·1	160·2	358·4	·419	·598	·119	·798
Juli	·300	·285	·217	— ·532	46·5	157·8	353·4	·413	·574	·114	·766
August	·285	·191	·228	— ·613	56·2	159·6	3·1	·343	·654	·074	·873
September	·332	·180	·168	— ·655	61·5	165·6	356·2	·378	·676	·038	·902
Oktober	·362	·210	·140	— ·667	59·9	165·2	196·9	·409	·681	·024	·908
November	·463	·133	·083	— ·645	73·9	172·6	195·5	·481	·650	·074	·867
Dezember	·426	·231	·148	— ·623	61·6	167·6	190·1	·484	·640	·103	·853
Jahr	·401	·251	·187	— ·631	58·0	163·6	295·5	·473	·663	·021	·880

	p_1	q_1	p_2	q_2	A_1	A_2	a_1	a_2	a_2 red. 760 627
XVI. Windhuk 22° 54' S, 17°6 'E, 1670 *m*, 2 Jahre (1902/03) 2stündig									
Jänner	·15	·63	·24	— ·62	19·3	159·0	·632	·642	·778
Februar	·21	·59	·19	— ·61	16·5	159·0	·634	·642	·778
März	·13	·62	·29	— ·56	16·3	157·5	·604	·627	·759
April	·21	·53	·20	— ·58	17·8	159·2	·556	·620	·751
Mai	·14	·45	·18	— ·59	18·8	160·9	·497	·613	·742
Juni	·18	·45	·23	— ·56	18·1	159·4	·483	·598	·724
Juli	·08	·50	·19	— ·53	13·5	158·2	·514	·592	·717
August	·15	·54	·27	— ·60	14·7	158·4	·589	·624	·756
September	·22	·68	·19	— ·61	18·2	161·7	·673	·638	·773
Oktober	·25	·65	·15	— ·60	19·2	164·4	·698	·632	·766
November	·21	·68	·18	— ·62	21·3	162·5	·687	·629	·762
Dezember	·31	·55	·24	— ·56	24·2	159·6	·658	·630	·763
Jahr	·19	·57	·21	·59	18·5	160·0	·603	·623	·756

	p_1	q_1	p_2	q_2	A_1	A_2	A_3	a_1	a_2	a_3	a_2 korr. und red. 760/572
XX. Arequipa-Observatorium 16° 22' S, 71° 33' W, 2451 *m*, 4 Jahre (1892/95)											
Jänner	·014	— ·211	·217	— ·429	176·2	153·2	160·0	·211	·481	·035	·852
Februar	·028	— ·224	·247	— ·441	172·9	150·8	194·5	·226	·505	·028	·893
März	·005	— ·221	·233	— ·449	178·7	152·6	342·4	·221	·506	·023	·897
April	— ·046	— ·189	·202	— ·435	193·7	155·1	352·7	·195	·480	·079	·851
Mai	— ·099	— ·138	·193	— ·407	215·6	154·6	13·7	·170	·450	·084	·798
Juni	— ·126	— ·097	·220	— ·390	232·4	150·6	0·7	·163	·448	·106	·794
Juli	— ·122	— ·091	·254	— ·402	233·3	147·7	0·6	·152	·475	·110	·841
August	— ·102	— ·120	·253	— ·437	230·1	149·9	10·1	·156	·505	·096	·895
September	— ·083	— ·161	·206	— ·469	207·3	156·3	20·0	·181	·512	·082	·908
Oktober	— ·070	— ·189	·149	— ·474	200·3	162·6	20·8	·201	·497	·044	·881
November	— ·051	— ·198	·129	— ·454	194·4	161·1	97·0	·205	·472	·021	·837
Dezember	— ·020	— ·201	·164	— ·432	185·7	159·6	147·6	·202	·461	·036	·817
Jahr	— ·056	— ·170	·206	— ·435	198·5	154·7	1·5	·179	.481	·043	·855

Descalvados[1] (Matto Grosso)
16° 44' S, 57° 37' E 1906

	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Okt.	Nov.
A_1	356·6	347·1	352·0	344·5	342·9	348·0	345·2	347·1	352·8	2·5
A_2	161·5	147·5	161·6	161·6	166·5	156·6	159·0	163·0	154·9	159·3
a_1	·77	·88	·92	·87	·74	·97	1·11	1·29	1·12	1·29
a_2	·76	·72	·75	·74	·73	·89	·98	·95	·90	·87

1 Von Dr. **Heidke** berechnet, D. Überseeische Beob. Heft XV u. XVI, Hamburg 1908.

	p_1	q_1	p_2	q_2	A_1	A_2	A_3	a_1	a_2	a_3	a_2 760/699
	XIV. São Paulo 23° 33' S, 46° 38' W, 755 *m*, 5 Jahre (1892/96)										
Jänner	·021	·344	·295	— ·558	3·5	152·2	183·4	·345	·631	·084	·686
Februar	·024	·268	·343	— ·511	5·1	146·2	180·7	·269	·611	·034	·664
März	·010	·253	·335	— ·550	2·3	148·6	34·3	·253	·644	·027	·700
April	·006	·218	·231	— ·548	1·5	157·1	353·9	·218	·615[1]	·104	·669
Mai	·051	·231	·241	— ·543	12·5	156·1	6·8	·236	·594	·136	·646
Juni	·020	·187	·248	— ·530	6·1	154·9	0·6	·188	·585	·140	·636
Juli	— ·022	·323	·293	— ·520	356·2	150·6	357·1	·323	·597	·159	·649
August	·049	·342	·304	— ·557	8·2	151·4	356·8	·346	·635	·127	·690
September	·022	·253	·208	— ·683	4·9	161·9	8·9	·254	·671	·078	·729
Oktober	·068	·276	·140	— ·648	13·8	167·8	13·8	·284	·663	·034	·720
November	·093	·276	·148	— ·580	18·6	165·7	180·6	·291	·630	·030	·685
Dezember	·051	·344	·233	— ·588	8·5	158·4	148·7	·348	·632	·054	·687
Jahr	·032	·277	·277	— ·564	4·8	153·8	4·6	·278	·630	·050	·680

	A_1	A_2	A_3	a_1	a_2	a_3	A_1	A_2	a_1	a_2
	XXXV. Valdivia 39° 48' S, 73° 15' E, 15 *m*, 2 Jahre						**XXXVI. Oster-Insel** 27° 10' S, 109° 26' W, 30 *m*, 1 Jahr			
November/Februar	38·7	159·7	163·4	·416	·311	·119	82·1	166·3	·08	·49
Äquinoktien	34·6	158·3	103·1	·398	·362	·051	51·8	154·4	·05	·61
Mai/August	27·0	166·2	10·6	·254	·360	·115	77·2	163·6	·14	·60
Jahr	33·9	161·4	96·3	·352	·345	·036	74·2	158·8	·09	·567

[1] mittels Sinnsreihen berechnet.

XIII. Asuncion (Paraguay)

25° 18' S, 57° 40' W, 105 *m*, 5 Jahre (1893/97)

	p_1	q_1	p_2	q_2	A_1	A_2	a_1	a_2
Jänner	— 0·25	0·76	0·36	— 0·63	341·7	150·1	·80	·73
Februar	— 0·32	0·80	0·40	— 0·59	338·2	145·7	·86	·72
März	— 0·24	0·77	0·34	— 0·58	345·5	149·6	·79	·68
April	— 0·18	0·66	0·26	— 0·66	344·3	158·5	·68	·71
Mai	— 0·13	0·56	0·26	— 0·59	346·6	156·6	·58	·65
Juni	— 0·09	0·54	0·26	— 0·59	350·5	156·3	·56	·65
Juli	— 0·14	0·62	0·30	— 0·59	347·3	153·4	·64	·66
August	— 0·15	0·72	0·34	— 0·65	348·6	152·0	·73	·73
September	— 0·17	0·79	0·29	— 0·68	347·6	156·8	·81	·74
Oktober	— 0·24	0·80	0·26	— 0·62	343·1	157·3	·83	·67
November	— 0·31	0·79	0·27	— 0·58	338·5	155·1	·85	·63
Dezember	— 0·31	0·83	0·38	— 0·56	339·7	145·7	·89	·67
Jahr	— 0·211	0·720	0·310	— 0·610	344·3	153·1	·752	·687

X. Kimberley

28° 43' S, 24° 46' E, 1232 *m*, 7 Jahre (1898/1904)

	A_1	A_2	A_3	a_1	a_2	a_3	a_2 red. 760/662
Jänner	357·7	155·2	180·9	·808	·605	·091	695
Februar	353·7	151·7	182·7	·836	·617	·033	708
März	354·0	151·2	366·1	·658	·620	·030	710
April	353·3	156·4	367·6	·531	·612	·096	703
Mai	354·5	157·1	356·4	·483	·582	·150	668
Juni	348·0	154·4	346·3	·470	·551	·150	632
Juli	355·2	154·1	353·9	·579	·559	·160	641
August	357·6	158·5	348·4	·627	·658	·122	755
September	363·1	164·6	27·7	·795	·709	·102	814
Oktober	364·4	169·4	125·3	·831	·658	·025	755
November	359·7	165·3	185·5	·935	·660	·074	758
Dezember	358·9	159·9	184·3	·907	·612	·107	703
Jahr	356·7	158·7	348	·701	·617	·040	712

	A_1	A_2	A_3	a_1	a_2	a_3
	XV. Mangarewa (Rikitea) Niedrige Inseln 23° 15' S, 134° 45' W, 3 m, 2 Jahre (1902/04), wahre Zeit					
Jänner	34·3	167·5	181·4	·255	·663	·147
Februar	28·8	173·9	179·3	·222	·687	·081
März	26·6	172·5	168·5	·264	·685	·028
April	31·6	171·4	31·1	·292	·709	·068
Mai	25·5	172·7	18·8	·281	·697	·126
Juni	24·6	173·0	11·8	·276	·673	·144
Juli	14·1	162·8	12·4	·209	·643	·147
August	21·8	159·0	6·8	·159	·711	·119
September	20·5	157·5	13·5	·258	·750	·081
Oktober	25·4	165·0	116·3	·126	·738	·041
November	31·0	158·8	151·9	·196	·688	·097
Dezember	27·3	168·1	173·9	·172	·642	·123
Jahr	26·0	166·8	88·8	·226	·690	—

Die Konstanten der harmonischen Analyse der täglichen Luftdruckschwankung auf der nördlichen Halbkugel werden im zweiten Teile dieser Abhandlung mitgeteilt werden, aber nur die neu berechneten. Für die in dieser Hinsicht bisher kaum bekannte südliche Hemisphäre sind sie oben sämtlich mitgeteilt worden.

In dem zweiten Teile werden auch die Abweichungen der Stundenmittel des Luftdruckes vom Tagesmittel aber nur für die neuen Stationen auf beiden Hemisphären zur Mitteilung gelangen. Im übrigen muß auf meine früheren Abhandlungen und auf Angot verwiesen werden.

ZUR EMBRYOLOGIE DER ARISTOLOCHIACEAE

VON

EMMA JACOBSSON-STIASNY (GÖTEBORG).

MIT 2 TAFELN UND 3 TEXTFIGUREN.

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 26. APRIL 1917.

Wenn ich die hier folgende Darstellung der embryologischen Entwicklung der *Aristolochiaceen* trotz ihrer Unvollständigkeit bereits veröffentliche, so dürfte dies aus dem Grunde nicht unberechtigt erscheinen, daß *Aristolochia* sich als Beispiel einer außerordentlich großen Mannigfaltigkeit der Jugendstadien erwiesen hat. Obwohl diese scheinbar größere Mannigfaltigkeit der morphologischen Verhältnisse bei dieser und verwandten Gattungen nun aber auch bis zu einem gewissen Grade für diese Gattungen respektive für diese Reihen charakteristisch sein dürfte, so könnte sie sich zum Teil auch damit erklären, daß diesen Entwicklungsstadien sonst bei der Beschreibung nur ungenügende Aufmerksamkeit geschenkt worden ist. Es dürfte daher von Wert sein, neuerlich darauf hinzuweisen, daß dieses Verhalten, wenn man auf Grund der Angaben zu allgemein gültigen Schlußfolgerungen gelangen will, eine eingehendere Behandlung erfahren müsste.

Für die Betrachtung der jüngsten zur Makrosporenbildung führenden Stadien stand mir für die Gattung *Aristolochia* ein etwa vier und einhalb Tausend Schnitte umfassendes Untersuchungsmaterial zur Verfügung. Auf diese Gattung will ich mich in meiner Schilderung auch beinahe ausschließlich beziehen. Das für *Asarum europaeum* vorliegende Material war viel geringer und ist daher noch lange nicht ausreichend, ein Bild der Jugendstadien zu geben. Dies ist vielleicht eine Ursache dessen, daß ich bei dieser Gattung bisher stets nur eine einzige Archesporzelle und vier aus dieser hervorgehende Makrosporen beobachten konnte, deren chalazale sich allein zu einem Embryosacke entwickelt. Daß aber auch das Verhalten dieser Art in Wirklichkeit nicht ganz konstant ist, geht schon daraus hervor, daß Jönsson (21, p. 55) für *Asarum europaeum* einen Fall abbilden konnte, in welchem aus zwei benachbarten Makrosporen einer Tetrade zwei Embryosäcke zur Entwicklung gelangt sind. Wenn dieser Befund nun auch schon einen Beweis dafür bildet, daß das mir vorliegende Material nicht alle bei *Asarum* möglichen Modifikationen umfaßt, so dürfte sich aus demselben doch bereits ergeben, daß die Jugendstadien bei *Asarum* eine bedeutend größere Konstanz als bei *Aristolochia* aufweisen.

Bei *Aristolochia Clematitis* tritt zu einem Zeitpunkt, wo noch nicht die geringste Differenzierung des Nucellus zu beobachten ist, als Wucherung der Epidermis das innere Integument auf. Erst in dem Stadium, wo das zweite subepidermoidale, äußere Integument sich zu entwickeln beginnt oder

nachdem es schon deutlich zu erkennen ist, fängt eine zwei bis drei Schichten unterhalb der Epidermis gelegene Zelle an sich zu verlängern und zu einem Archespor auszuwachsen. Zum Unterschied von verwandten Formen wie zum Beispiel *Cabomba caroliniana* (**37**, p. 230, Abb. 1), wo das Archespor sich schon lange vor Ausbildung der Integumente herausdifferenziert und die Samenanlage selbst bei Auftreten der sporogenen Zellen noch einen fast ganz flachen Höcker darstellt, wo sie daher bis zur Ausbildung der Integumente noch bedeutenden Veränderungen unterworfen ist, findet die Differenzierung des Archespors bei *Aristolochia* erst zu einem viel späteren Stadium statt. Hier stellt auch die Samenanlage selbst zu dem Zeitpunkt, wo die Integumente auftreten, bereits eine kugelförmige Erhebung dar. Dieser Unterschied in der Verteilung der Entwicklungsintensität dürfte sich auch mit einem andern Unterschied des Verhaltens in Verbindung bringen lassen, damit nämlich, daß die Nucellarcalotte bei *Aristolochia* schon vor Ausbildung des Archespors aus sterilen Zellen hervorgeht, während sie bei *Cabomba* aus sporogenen Zellen, aus den Tapetenzellen, aufgebaut wird. Wenn nun in meinem Material auch stets nur eine einzige ausgesprochene Archesporzelle festzustellen war, so ließ sich doch manchmal bei Nachbarzellen eine relative Größenzunahme beobachten. Daß es bei *Aristolochia* jedoch tatsächlich zumindest auch zur Ausbildung eines zweizelligen Archespors kommen kann, läßt sich aus Abbildung 4 (Taf. I) ersehen, wo zwei parallele benachbarte Makrosporenreihen, die eine im zweizelligen, die andere im vierzelligen Stadium zur Darstellung kommen. Das Auftreten mehrerer hintereinanderliegender Archesporzellen habe ich bisher weder bei *Asarum* noch bei *Aristolochia* beobachten können.

Ein Vergleich der *Polycarpicae* ergibt, was die Ausbildung des Archespors betrifft, sehr mannigfaltige Verhältnisse. Bei den *Rafflesiaceae* (**11,** Taf. V, Abb. 1, **3,** p. 45, **4,** p. 305, **54,** Taf. I, Abb. 2) ist bisher ebenso wie bei den *Ceratophyllaceae* (**56,** p. 496), *Lardizabaleae* (**62,** p. 8), *Magnoliaceae* (**28,** p. 3) und *Berberidaceae* (**1,** p. 423) immer nur eine einzige Archesporzelle festgestellt worden. Bei den *Sarraceniaceae* konnte Shreve (**52,** p. 110) unter vielen hundert Exemplaren nur dreimal mehr als eine Makrospore beobachten. Ob die Einheitlichkeit der Verhältnisse bei den genannten Familien aber auch wirklich den Tatsachen entspricht oder ob sie bloß eine scheinbare ist, muß noch dahingestellt bleiben. Feststellen läßt sich einstweilen nur, daß bei den *Ranunculaceae*, die in dieser Hinsicht in mehreren Vertretern untersucht sind, auch eine größere Mannigfaltigkeit festgestellt worden ist. Neben dem so häufigen einzelligen Archespor konnte hier bei *Ranunculus multifidus* (**10,** p. 79) auch ein zwei- bis dreizelliges, bei *Caltha* ein fünfzelliges (**33,** Taf. XVII, Abb. 12), bei *Anemonella thalictroides* ein ein- bis mehrzelliges (**33,** p. 298), bei *R. abortivus* und *recurvatus* (**10,** p. 79 und **33,** Taf. XIX, Abb. 44), bei *R. septentrionalis* (**10,** p. 78) ein zwei- bis vierzehn Zellen umfassendes Archesporgewebe beschrieben werden. Eine ähnliche Vielzelligkeit des Archespors bei *R. septentrionalis* wurde auch sonst unter den *Polycarpicae* bereits bei den *Calycanthaceae* (**26,** p. 10) und *Lauraceae* (**32,** p. 270) festgestellt, deren Nucellus nach Mirande in dieser Hinsicht mit den *Rosaceae* Übereinstimmung zeigt. Von dieser Modifikation, einem der Anlage nach vielzelligen Archespor, will Nitzschke (**37**) eine gewissermaßen sekundäre Vermehrung dieser Zellen unterschieden sehen, bei welcher das mehrzellige Archespor aus der Teilung einer einzigen primären Archesporzelle hervorgehen kann. Diese Modifikation, die sich sehr wohl als Zwischenstufe erklären läßt, ist auch früher schon, jedoch ohne die bewußte prägnante Unterscheidung, beschrieben worden (**33,** p. 298). Was aber diese Verhältnisse bei *Cabomba* betrifft, so scheinen sie mir bis zu einem gewissen Grade doch noch eine Nachprüfung zu fordern. Es dürfte nicht ausgeschlossen sein, daß es sich in manchen Fällen dort, wo Nitzschke eine vermehrte Zahl von Archesporzellen vor sich zu haben glaubte, um vier Makrosporen einer einzigen Tetrade handelt. Abbildung 12, p. 237 ließe sich zum Beispiel in diesem Sinne deuten.

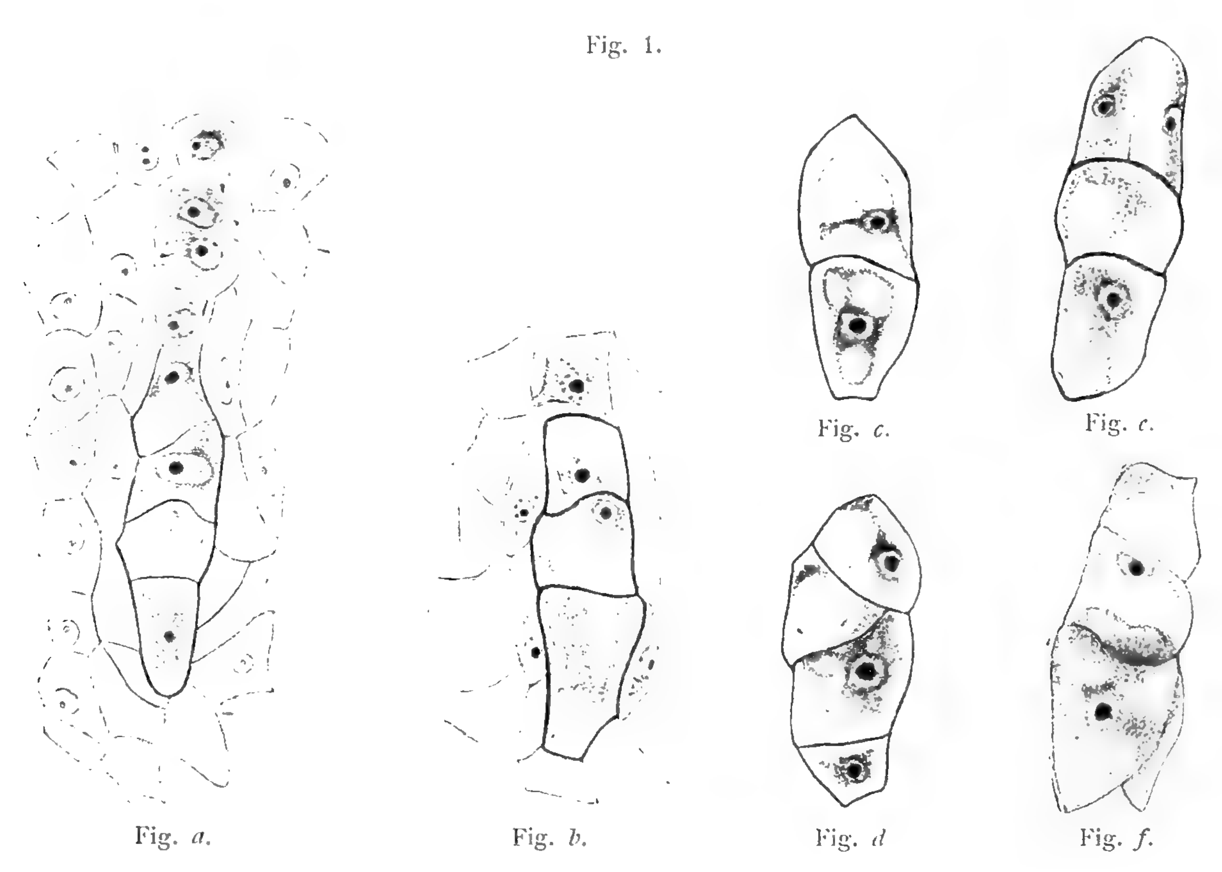
Was nun die Bedeutung des Archespors als systematisches Merkmal betrifft, sind die Meinungen überhaupt noch sehr geteilt. Während Lloyd (**25,** p. 63) behauptet, daß »the appearance of a pluricellular archespor may by no means be considered as primitive. It has been shown by several workers to occur in widely separated families, and with certainty may be said to have no phylogenetic signi-

ficance« und während er die verschiedenenen Modifikationen des Archespors ausschließlich als »reccurent morphological structures called out in response to physiological necessities« (**25,** p. 46) erklärt, sehen andere in dem vielzelligen Archespor, »a primitive character that has been retained or at least not entirely eliminated« (**42,** p. 131). Eine ähnliche Auffassung des Archespors als eines ursprünglichen Charakters dürfte wohl auch in Coulters Bemerkung zum Ausdruck kommen, daß »the evidence is clear that the single archespor of *Ranunculus* is but an remnant of an archesporial mass of cells« (**10,** p. 78), indem er hier nur darauf Rücksicht nimmt, daß das einzellige Archespor von *Ranunculus* sich von einem vielzelligen Monochlamydeenarchespor ableiten läßt und nicht darauf, daß diese Form gerade wieder einen Ausgangspunkt einer Reihe mit sekundärer Vermehrung dieses Gewebes zu bilden scheint. Noch weniger deutlich spricht sich in dieser Frage Nitzschke aus, indem er (**37,** p. 258) sagt, »das Merkmal mehrfacher Archespore ist, wo es bei andern alten Familien vorkommt, ... — bei höher stehenden Familien: *Asclepiadaceae, Rubiaceae, Compositen* ist das Vorkommen weit seltener — als eins von Ursprünglichkeit anzusehen....« Es kommt hier nicht zum Ausdruck, ob wir es nach seiner Aufassung bei diesen höheren Familien mit einem rudimentären Charakter zu tun haben, der noch nicht verschwunden ist, oder ob es sich hier um eine sekundäre Vermehrung des Archespors handelt. Diese Frage läßt sich aber auch nicht endgültig beantworten, ohne die einzelnen Fälle auf ihre Ursprünglichkeit hin zu überprüfen. Eine solche Überprüfung ist aber augenblicklich infolge Unsicherheit der verwandtschaftlichen Beziehungen zumeist noch nicht möglich. Dies sei gerade an der Hand eines aus dem hier betrachteten Formenkreise gewählten Beispiels bewiesen. Die *Polycarpicae* umfassen neben Vertretern mit einzelligem Archespor auch solche, die ein mehr oder minder stark entwickeltes Archesporgewebe zur Ausbildung bringen. Bei den Monochlamydeen ergibt ein Vergleich der embryologischen Befunde eine geschlossene morphologische Reihe von einem mehr als dreihundert Zellen umfassenden Gewebe bei *Casuarina,* zu einem bloß der Anlage nach umfangreichen sporogenen Gewebe, an dem aber aus unbekannter Ursache nur spärliche Zellen zur vollen Ausbildung gelangen (**22,** p. 319), wie bei *Juulans* endlich zu einem einzelligen Archespor, wie es zum Beispiel bei den *Myricales,* den meisten *Urticales* und *Tricoccae* beobachtet worden ist. An die *Polycarpicae* wurden ihrerseits wieder die *Rosaceae* angeschlossen, die mit einer einzigen Ausnahme (**36,** p. 14) ein vielzelliges Archespor aufweisen. Haben wir es hier nun mit einer geraden Entwicklungsreihe in dem Sinne zu tun, daß die *Polycarpicae* oder zumindest diejenigen ihrer Vertreter, denen sich die *Rosaceae* anschließen lassen, von Monochlamydeen mit vielzelligem Archespor abzuleiten sind, oder liegt hier eine gebrochene, zickzackförmige Entwicklung in dem Sinne vor, daß wir es bei den *Polycarpicae* oder bei den *Rosaceae* mit einer sekundären Vermehrung dieses Gewebes zu tun haben? Wenn aber ein umfangreicher Vergleich dieser Verhältnisse einmal tatsächlich ergeben sollte, daß das vielzellige Archespor in manchen Fällen sekundär vom einzelligen abzuleiten ist, so wäre dieser Befund auch als Gegenargument gegen die so häufig geäußerte aprioristische Annahme einer stets geradlinigen Entwicklung der Merkmale von prinzipiellem Interesse.

Mit dieser Frage, ob das vielzellige Archespor ursprünglich oder abgeleitet sei, oder ob es endlich zu verschiedenen Zeiten auftauchen kann, wurde zum Beispiel von Lloyd eine zweite Frage identifiziert, nämlich die Frage, ob diesem Merkmal ein systematischer Wert zukomme oder nicht. Hier handelt es sich aber um eine Vermengung heterogener Dinge. Es kann wohl zugestanden werden, daß es die systematische Verwertung dieses Merkmals erleichtern könnte, wenn es sich ergeben würde, daß wir es stets mit einer einsinnigen Entwicklung des Archespors von einem Gewebe zu einer einzigen Zelle zu tun haben. Allerdings würde auch in diesem Falle die Einzelligkeit des Archespors nicht als zwingendes Argument für eine abgeleitete systematische Stellung, die Vielzelligkeit als Beweis einer größeren Ursprünglichkeit anzusehen sein. Auch dann, wenn die einzig mögliche Modifikationsreihe einer Reduktionsreihe entspricht, könnte die Reduktion dieses Merkmals in verschiedenen Richtungen in verschiedenem Tempo erfolgen, die Modifikation eines Einzelmerkmals würde daher niemals einen Gradmesser für die Entwicklungshöhe einer Gattung bilden können. Jedesfalls erscheint es aber sehr wohl möglich,

dieses Merkmal auch dann für systematische Zwecke zu verwerten, wenn wir es hier nicht mit einer solchen einstimmigen geradlinigen Entwicklung, sondern wirklich, der Auffassung Lloyds gemäß, was allerdings erst des umfangreichen Beweises bedarf, mit »recurrent morphological structures« zu tun haben. Auch dann können sich auf Grund dieses Merkmals Modifikationsreihen ergeben, deren Vergleich mit den Modifikationsreihen anderer Merkmale, wie Nitzschke ihn vorzunehmen versuchte, zur Klärung der systematischen Beziehungen innerhalb der Formenreihen beitragen könnte. Als Argument dafür, daß den Modifikationen des Archespors aber tatsächlich systematische Bedeutung zukomme, könnte auch die Konstanz seines Auftretens sprechen. Es würde sonst, um ein Beispiel zu nennen, ganz auffallend erscheinen, daß die Rosaceen mit einer einzigen Ausnahme ein vielzelliges Gewebe, die nahe verwandten Leguminosen dagegen bisher ausnahmslos nur eine einzige Archesporzelle aufweisen. Daß diese Konstanz des Verhaltens nur eine scheinbare ist und bloß auf den Zufall der Formenwahl zurückgeführt werden soll, läßt sich, wenn es sich auch um große Formenkreise handelt, in Anbetracht der großen untersuchten Formenzahl nicht annehmen. Die große Einheitlichkeit des Verhaltens dürfte daher wohl tatsächlich für den systema-

Fig. 1.



Einige Beispiele für die mannigfaltige Orientierung der Tetradenzellen.

(Sämtliche Figuren gezeichnet mit Zeiß Zeichenapparat bei Anwendung von Zeiß Ölimm. + Ocul. 6; Vergröß. ungef. 950.)

tischen Wert dieses Merkmales sprechen. Jedesfalls läßt sich aber die Frage nach der systematischen Bedeutung des Archespors nicht jetzt schon negativ beantworten, die vorliegenden Befunde würden im Gegenteile eher im positiven Sinne zu deuten sein. Die Frage bedarf aber zu ihrer endgültigen Lösung erst eines umfangreichen embryologisch-systematischen Vergleiches. Vorläufig kann die Betrachtung der Morphologie des Archespors daher nur zu Fragestellungen anregen. So könnte man in der analogen Ausbildung des Archespors bei den Lauraceen vielleicht einen Hinweis auf eine nähere Beziehung dieser Familie zu den Rosaceen sehen, ebenso wie die nahe Zugehörigkeit der Calycanthaceen zu den Rosaceen sich in der gleichartigen Ausbildung des Archespors zu bestätigen scheint. Vielleicht läßt sich auch, um ein anderes Beispiel zu nennen, das Auftreten vielzelliger Archespore bei manchen ursprünglichen Helobien und Araceen als neues Argument ihrer Verwandtschaft betrachten.

Die Nucellarepidermis von *Aristolochia* weist entweder nur eine einzige oder überhaupt keine Querteilung auf. Zur Zeit der Makrosporenbildung haben die beiden Integumente bereits eine größere Entwicklung erfahren, wenn es auch noch nicht zu ihrer Vereinigung über der Nucellusspitze

gekommen ist. Ein Querschnitt durch den Fruchtknoten, der den Funikulus und die Samenanlage selbst im sagittalen Längsschnitt trifft, läßt entweder vier, drei oder auch nur zwei linear angeordnete Makrosporen feststellen.

Eine Reihe von Vergleichen ergibt als das Mittel des Verhältnisses für das Auftreten dieser drei Modifikationen die Zahlen 1 : 2·5 : 2·5. Von diesen Modifikationen ist die scheinbare Dreizahl der Makrosporen in einer Schnittebene auf eine T-förmige Anordnung der Tetradenzellen zurückzuführen, die sich durch die Juxtaposition der vierten Makrospore mit irgend einer der drei andern Makrosporen erklären läßt. Auf diese Weise resultiert bereits durch die Lage der parallel gestellten Makrosporen innerhalb der Tetrade eine große Mannigfaltigkeit der Verhältnisse, indem sich schon hiedurch drei Modifikationen ergeben. Als weitere Modifikation tritt aber noch der Fall hinzu, der im Schnitte nur zwei übereinander gelagerte Makrosporen erkennen läßt. Er entspricht einer mikrosporenartig haufenförmigen Orientierung der Tetradenzellen. Wenn es nun bereits recht auffällig ist, daß das Bild der Dreizahl der Makrosporen sich so ungleich häufiger beobachten läßt als das Bild der Vierzahl bei Juxtaposition eines Zellenpaares, so erscheint es aber noch auffälliger, daß das Bild einer massenförmigen Vierzahl in diesem etwa viertausend Schnitte dieses Stadiums umfassenden Material überhaupt nicht zu beobachten war. Dieses Bild stellt wohl aber die notwendige Ergänzung zu der so häufig beobachteten Zweizahl dar. Diese Erscheinung dürfte darauf zurückzuführen sein, daß die Teilungsebene der Makrosporen zur Samenanlage eine ganz fixe Orientierung zeigt und die vorliegenden Schnitte, da sie durchwegs zur Sagittalebene parallel orientiert waren, nur eine bestimmte Ansicht zugänglich machen Die große Mannigfaltigkeit des Makrosporenbildes erschöpft sich aber mit den genannten Modifikationen noch nicht. Außer den erwähnten Grenzfällen finden sich auch alle Übergangsstufen zwischen der linearen und massigen Lagerung der Tetradenzellen vor, die sich durch die große Mannigfaltigkeit der Orientierung der Zellwände ergeben. Diese Zellwände können mit der Axe der Samenanlage jeden möglichen Winkel einschließen. Als eine häufige Erscheinung bedarf es auch der Erwähnung, daß die Querwände der linearen Tetrade, von der Chalaza gesehen, eine auffallende Konkavität zeigen. Dies dürfte sich vielleicht damit in Beziehung setzen lassen, daß die vier Tetradenzellen häufig statt strickleiterförmig stufenförmig aneinander gereiht sind.

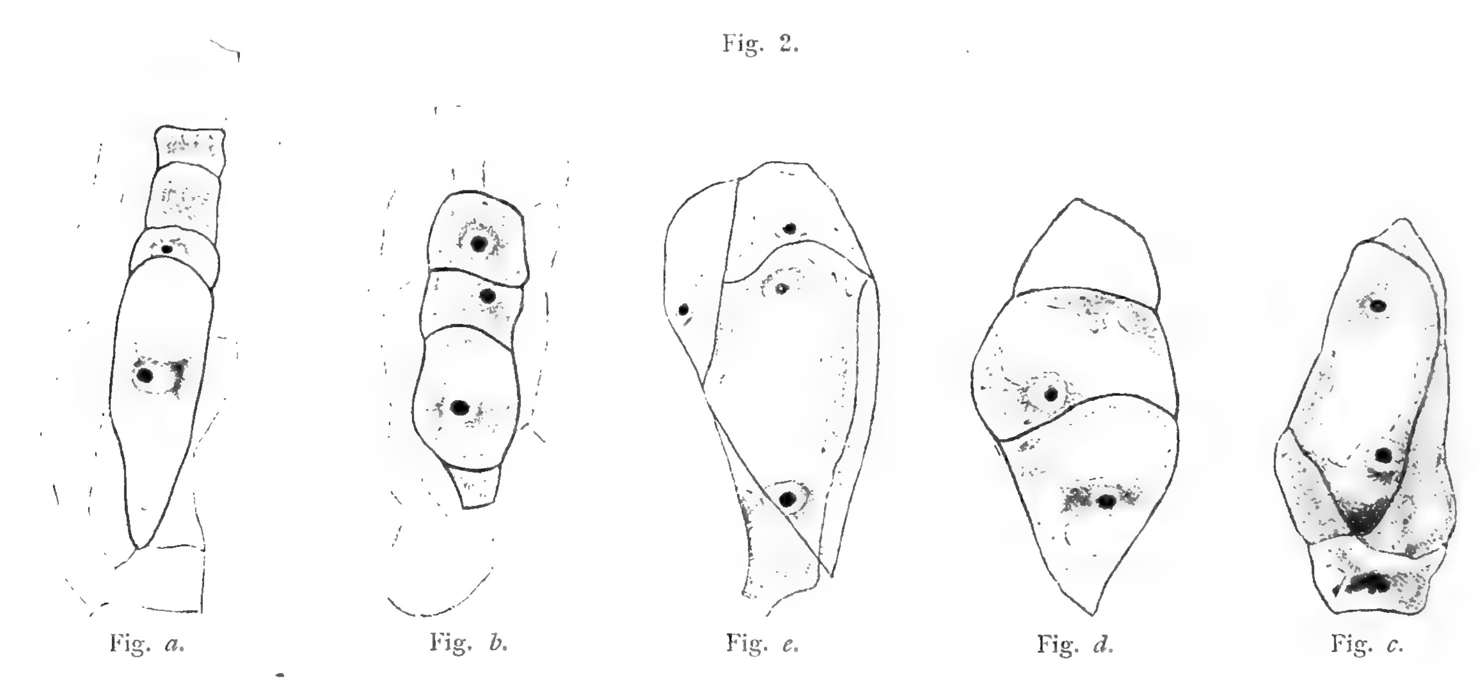
Das Auftreten einer massigen Orientierung der Makrosporen ist innerhalb dieses Verwandtschaftskreises auch sonst häufig. Ihre extremste Modifikation, die Anordnung in T-Form ist innerhalb der *Polycarpicae* auch bei den Nymphäaceen (**37**, p. 261), ferner im Sinne der Schilderung, obwohl Abbildung 7, Tafel XXVIII erst der Nachprüfung bedarf, auch bei den Berberidaceen (**1**, p. 424), den Sarraceniaceen (**52**, Taf. IV, Abb. 22), bei den *Anonaceae* (**13**, Taf. XV, Abb. 7 u. 8), bei verschiedenen Arten der Gattung *Ranunculus* wie bei *R. abortivus* (**33**, Taf. XIX, Abb. 36) und bei *Myosurus* (**29**, Taf. II, Abb. 9 *a*) beobachtet worden. Sie konnte ferner auch bei nahen Verwandten, nämlich bei *Neurada* (**36**, p. 15) und *Ruppia* (**35**, p. 13), bei *Potamogeton* (**16**, p. 343) und *Butomus* (**17**, p. 66) festgestellt werden. Jedesfalls erscheint aber diese nichtlineare Anordnung bereits auf Grund meiner Zusammenstellung keineswegs auf diesen Verwandtschaftskreis beschränkt. Sie konnte auch bei *Urtica* (**59**, p. 248), bei *Cynomorium* (**20**, p. 198), ferner bei *Daphne* (**58**, Taf. XXV, Abb. 46 und **39**, Taf. XXIV, Abb. 46), bei *Drosera* (**47**, Abb. 27, p. 43), bei *Garcinia* (**46**, p. 5) und *Diospyros kaki* (**64**, Taf. XIII, Abb. 26) beobachtet werden. Neben dieser extremen Modifikation und mit ihr oft durch Übergänge verbunden, findet sich auch eine massige Anordnung bei mehr oder minder ausgesprochener Schiefstellung einer Zellwand vor. Als Beispiele seien die Befunde bei *Cytinus* (**3**, Taf. VI, Abb. 4), *Ranunculus septentrionalis* (**33**, Taf. XIX, Abb. 47), *Ceratophyllum* (**56**, p. 497) und *Citrus* (**38**, Taf. IX, Abb. 69) genannt.

Diese Zusammenstellung kann nun aber keineswegs eine Einsicht in die Verteilung des Merkmals geben und zu Schlußfolgerungen berechtigen. Nicht nur daß diese hier gegebene Übersicht der Befunde einen mehr zufälligen Charakter trägt und keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben will, so könnte auch eine vollständige Zusammenstellung der Literaturangaben nur zu ganz hypothetischen Schlußfolgerungen führen, da diese Stadien in vielen Fällen nicht genügend ausführlich berücksichtigt

worden sind. Infolge dieser zu geringen Berücksichtigung dürften die Beschreibungen einerseits nicht alle vorhandenen Modifikationen dieser Stadien umfassen, anderseits aber auch, worauf bereits Murbeck (**35**, p. 13) und Malte (**27**, p. 17) hingewiesen haben, eine Fehldeutung einschließen, indem in vielen Fällen eine Reduktion der Tetrade auf die Dreizahl der Makrosporen beschrieben worden ist, wo tatsächlich eine **T**-förmige Anordnung der Zellen vorgelegen hat.

Von Nitzschke ist bereits darauf hingewiesen worden (**37**, p. 257), daß »die zweite Form der Tetradenbildung . . . die Teilung in **T**-Form . . . ein systematisches Merkmal von Bedeutung zu sein scheint«. Er hat es auch in diesem Sinne als ein Teilmerkmal zur Klärung der Verwandtschaftsbeziehungen der *Helobiae* zu den *Polycarpicae* verwendet. Die Frage bleibt dagegen nach offen, ob das Merkmal der alinearen Anordnung der Makrosporen stets als ursprünglich betrachtet werden muß oder ob es zu verschiedenen Zeiten aufs neue aufgetaucht ist. Eine Lösung dieser Frage läßt sich aber augenblicklich noch keineswegs anstreben. Im Sinne der Homologisierung der Makrosporen- und Mikrosporentetrade müßte man allerdings erwarten, daß die massige Anordnung der Makrosporen die

Fig. 2.



a und *b* als Beispiele verschiedenartiger Lage der dominierenden Makrosporen; Fig. *c*, *d* und *e* zeigen verschiedene Fälle bedeutender Größenzunahme mehrerer einkerniger Makrosporen. (Alle Figuren gezeichnet mit Zeiß Zeichenapparat bei Anwendung von Zeiß Ölimm. + Ocul. 6; Vergröß. ungef. 950.)

ursprüngliche sei. Ob diese Erwartung sich aber auch tatsächlich bestätigt, wird sich jedoch erst an der Hand eines größeren Befundmaterials ergeben können. Überraschend wirkt aber von diesem Gesichtspunkte aus die Tatsache, daß diese Anordnung bisher bei den Monochlamydeen so selten beobachtet worden ist, daß insbesondere für die ursprünglichen Reihen keine Angabe einer **T**-förmigen Anordnung vorliegen dürfte. Dies bedarf allerdings noch der Überprüfung. Sollte sich dies aber bestätigen, so wäre es von Interesse festzustellen, ob in dem Sinne eine Korrelation der Merkmale vorliegt, daß die Ausbildung eines mehrzelligen Archespors das Auftreten einer alinearen Anordnung erschwert. Auffallend erscheint es, in Anbetracht der vermuteten Ursprünglichkeit dieses Merkmals auch ferner, daß die massige Anordnung der Makrosporen, während die lineare in manchen Formenkreisen mit absoluter Starrheit festgehalten wird, nicht fixiert zu sein scheint. Eine Gattung, die wie *Aristolochia*, eine alineare Anordnung aufweist, bringt nicht nur eine ganze Modifikationsreihe dieser Orientierung, sondern neben dieser auch noch die lineare Anordnung zur Entwicklung. Wie weit die ganze Reihe der bei *Aristolochia* auftretenden alinearen Modifikationen aber auch sonst nebeneinander auftreten können oder wie weit die einzelnen Variationen zumindest für verwandte Gattungen konstant zu sein pflegen, muß vorläufig noch dahingestellt bleiben. Aus den bisher vorliegenden Angaben muß man schließen, daß es in der Mehrzahl der Fälle die terminalen Makrosporen sind, die Juxtaposition

zeigen. Eine Parallelstellung der basalen Makrosporen, wie ich sie als eine spezielle Modifikation bei *Aristolochia* feststellen konnte, scheint soweit zumindest meine Literatureinsicht reicht, sonst noch nicht beschrieben zu sein. Jedenfalls ist sie äußerst selten. Dies könnte sich wenigstens zum Teil auch damit erklären, daß (**36,** p. 15) »die obere primäre Tochterzelle ebenso wie bei *Ruppia* verhältnismäßig niedrig ist und mit ihrem größten Durchmesser fast rechtwinkelig gegen den der unteren gestellt ist«, daß also die Größenreduktion der terminalen gegenüber der chalazalen Makrosporen, die sich durch die Lagerung gegenüber dem Nahrungsstrom erklärt, eine Ursache dessen bildet, daß die Juxtaposition vor allem bei den der Mikropyle benachbarten Zellen auftritt.

Die gleiche auffallende Mannigfaltigkeit, wie sie in der Orientierung der Einzelmakrosporen zum Ausdruck kommt, läßt sich auch in der Zahl und Lage der zur Reife gelangenden Tetradenzellen feststellen.

Fig. 3.

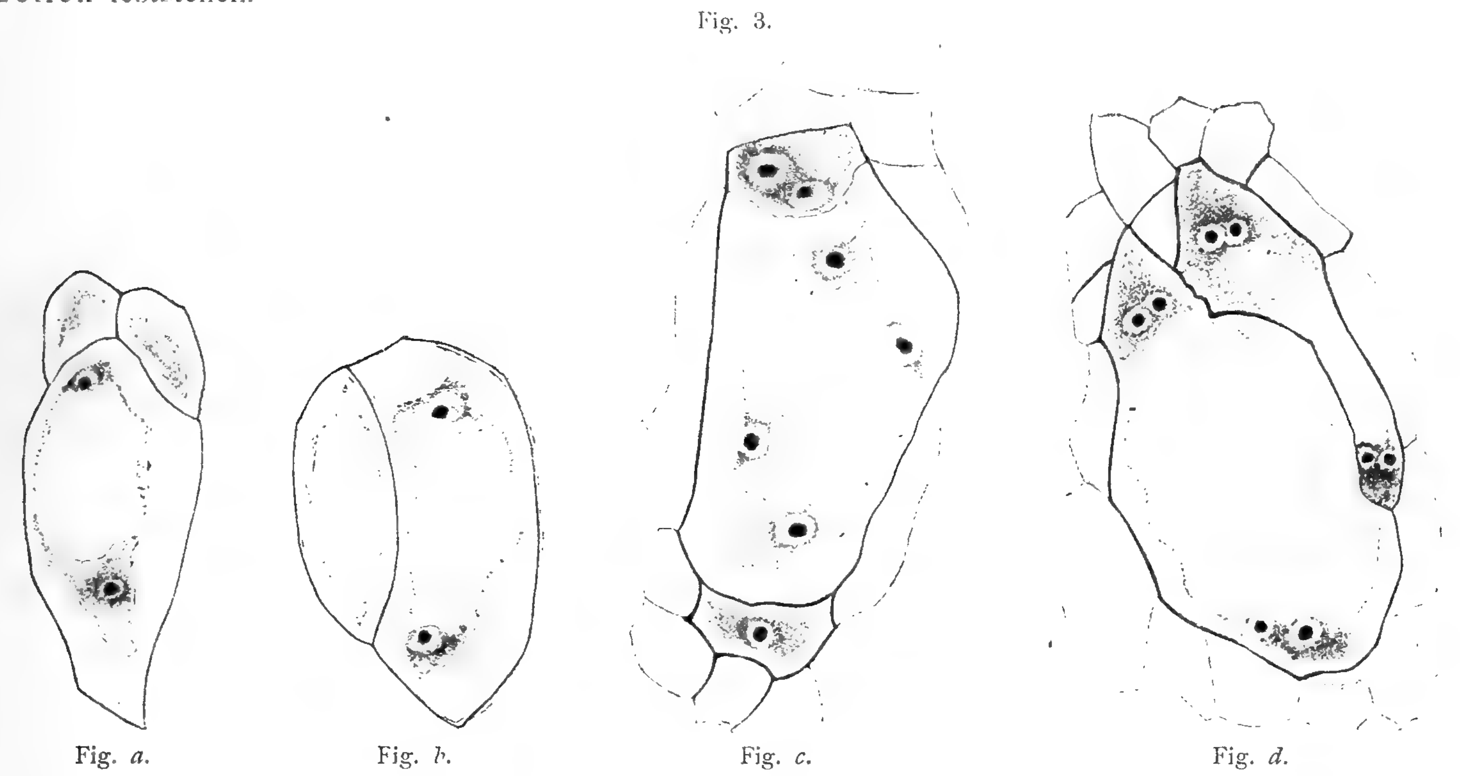


Fig. *a* und *b* als Beispiele des Fortbestehens mehrerer Makrosporen während des Zweikernstadiums der dominierenden; Fig. *c* eine analoge Modifikation während eines späteren Stadiums; Fig. *d*. Fall der Ausbildung zweier lebensfähiger vierkerniger Embryosäcke. (Alle Figuren gezeichnet mit Zeiß Zeichenapparat bei Anwendung von Zeiß Ölimm. + Ocul. 6; Vergröß. ungef. 950.)

Bei linearer Anordnung derselben ist zuerst eine ziemlich gleichmäßige Entwicklungsfähigkeit aller zu erkennen, so daß zu einem jüngeren Stadium in manchen Fällen auch eine andere als die chalazale Makrospore die größte Wachstumsenergie zu besitzen scheint. Trotzdem ist es bei der linearen Anordnung der vier Makrosporen doch zumeist die chalazale, die aus dem Konkurrenzkampf siegreich hervorgeht. Dagegen scheint bei einer massigen Lagerung die Weiterentwicklung mehrerer Makrosporen sehr häufig zu sein. In einer großen Zahl von Fällen konnte hier das Auftreten von vier außerordentlich großen einkernigen, häufig auch das Vorkommen einer zweikernigen neben einer oder mehreren einkernigen Makrosporen beobachtet werden. Die bei der Konkurrenz überwundenen Makrosporen sterben nicht von selbst ab, sondern werden verdrängt. Die Reste dieser Zellen sind in der Regel im Vierkernstadium bereits verschwunden. In manchen Fällen konnten aber zu diesem Zeitpunkte neben der vierkernigen auch noch ein- oder zweikernige Makrosporen festgestellt werden. Zweimal wies das Material zwei benachbarte schief zueinander gelagerte vierkernige Makrosporen auf. Sehr selten konnten ferner neben einem reifen Embryosack auch die ungeschrumpften Reste ein- und zweikerniger Makrosporen beobachtet werden. Ein einziges Mal fanden sich zwei achtkernige Embryosäcke neben den Resten einer dritten Makrospore vor.

Als Tatsache läßt sich daher unbedingt feststellen, daß eine Mehrzahl mehrkerniger in Weiterentwicklung begriffener Makrosporen zumeist in nichtlinearer Anordnung zur Entwicklung kommt. Die gleiche Beobachtung liegt auch für eine andere Familie der *Polycarpicae* vor. Nitzschke hat bei *Cabomba* bereits feststellen können (**37**, p. 253), daß »die Makrosporen bei doppelten Embryosäcken zu zwei und zwei übereinander angeordnet sind, während bei einfachen entweder vier Makrosporen hintereinander liegen, oder die homöiotypische Teilung in **T**-form erfolgt, wie auch bei allen andern untersuchten Pflanzen«. Es drängt sich nun die Frage auf, ob diese Erscheinung darauf zurückzuführen ist, daß die vier Makrosporen bei haufenförmiger Anordnung dem Nahrungsstrom gegenüber ähnlich situiert sind und daher beim Eintreten der Konkurrenz die gleiche Aussicht auf Weiterentwicklung besitzen. Diese Erklärung erscheint wohl als wahrscheinlich, läßt sich aber deshalb durch das Verhalten von *Aristolochia* nicht als unbedingt bewiesen ansehen. In Anbetracht der stufenförmigen Orientierung der linearen Tetrade ist es hier auch möglich, daß auch bei dieser linearen Anordnung, wenn mehrere Makrosporen zur Weiterentwicklung gelangen, infolge verschiedener Verschiebungen während des Wachstums eine sekundäre haufenförmige Lagerung der Tetradenzellen resultiert, so daß die massig gelagerten mehrkernigen Makrosporen also ebensowohl auf eine ursprünglich lineare als auch auf eine alineare Tetrade zurückzuführen sein könnten. Bezüglich der Entwicklungsfähigkeit der Archespore liegt aber bereits ein analoger wie der hier gegebene Erklärungsversuch von Nitzschke vor. Während es bei Parallelorientierung, also bei einer zur Längsaxe der Samenanlage von Cabomba parallelen Nebeneinanderlagerung dieser Zellen zu einer Vermehrung der Embryosäcke kommen kann, tritt dies dort nicht ein, wo zwei Archespore hintereinander liegen, da in diesem Falle »das Schicksal des einen, welches vor dem andern gelegen ist, bald besiegelt erscheint, da es schnell dem Wachstum des unteren, der Chalaza näher liegenden Archespore zum Opfer fallen muß.« (**37**, p. 238). Auf gleiche Weise wie die Parallelstellung in diesem Falle eine Voraussetzung für die Weiterentwicklung der Archesporzellen bildet, würde sie bei *Aristolochia* das Fortbestehen mehrerer Makrosporen ermöglichen.

Auch hier müssen wir uns wieder vor die Frage gestellt sehen, ob dem betrachteten Merkmal, der Lebensfähigkeit aller vier Makrosporen, eine phylogenetische Bedeutung zukomme und ob es für systematische Zwecke zu verwerten sei. Hiezu hat Nitzschke bereits Stellung genommen. Er will »in dem Bestreben mehrerer Makrosporen, ihre Gleichwertigkeit lange zu bewahren, ein Merkmal großer Ursprünglichkeit sehen« (**37**, p. 257 und 258). Mir will es dagegen scheinen, als ob auch diese Frage, wenngleich viel dafür sprechen dürfte, daß dieses Merkmal in manchen Fällen sekundär wieder auftauchen kann, momentan noch nicht zu entscheiden ist. Zu welchem Resultat man bei der Frage nach der Ursprünglichkeit dieses Merkmals aber gelangen mag, so scheint festzustehen, daß es für systematische Reihenbildung sehr wohl zu verwerten ist. Hiefür dürfte auch schon die große Konstanz und Heterogenität des Verhaltens verschiedener Formenkreise sprechen.

Während die Frage nach der phylogenetischen Bedeutung dieses Merkmals von Nitzschke aufgeworfen worden ist — aus seiner Darstellung ist es keineswegs zu entnehmen, daß er, wie Palm behauptet (**43**, p. 137), die phylogenetische mit der kausalen Betrachtung vermischt und verwechselt, es ist ihm vielmehr ausschließlich um die phylogenetische und nicht um eine kausale Erklärung zu tun — wurde von Palm der Versuch gemacht, die Erscheinung der gleichartigen Lebensfähigkeit der Zellen mancher Tetraden kausal zu erklären. Er kommt hiebei zu dem Resultate (**43**, p. 144), daß »Etwa 75 Prozent aller bisher beobachteten Fälle . . . keimungsphysiologischer Gleichwertigkeit der Makrosporen . . . durch die wegen des Vorkommens eines mehrzelligen Archespores gleichmäßigere Nahrungsverteilung im Nucellus sicher erklärt werden können . . . Für das Verständnis der übrigen hier nicht erwähnten Fälle fehlt zur Zeit jede positive Grundlage«. Diese von Palm beobachtete Koinzidenz der keimungsphysiologischen Gleichwertigkeit der Makrosporen und der Ausbildung eines vielzelligen Archespors muß wohl zum Teil tatsächlich in seinem Sinne darauf zurückgeführt werden, daß diese beiden Faktoren zueinander in kausaler Abhängigkeit stehen, zum Teil aber auch darauf, daß sie parallel als Ausdruck der gleichen Ursache auftreten. Günstige Ernährungsverhältnisse, die

bereits eine Weiterentwicklung mehrerer Archespore verursacht haben, ermöglichen auch die temporäre Weiterentwicklung mehrerer Makrosporen.

Auf die Darstellung der folgenden Stadien gehen die meisten Beschreibungen leider nur sehr wenig ein. In der Regel liegen daher gar keine oder nur ganz ungenaue Angaben darüber vor, ob eine Mehrzahl benachbarter Makrosporen das Zwei-, Vier- oder Achtkernstadium erreichen können. Häufig fehlt auch dort, wo tatsächlich mehrere Embryosäcke beschrieben worden sind, eine Angabe darüber, welche Kernzahl sie aufweisen. Auch die Erscheinung des Auftretens mehrerer reifer Embryosäcke scheint nur ganz selten eine zweckbewußte Überprüfung erfahren zu haben; in den meisten Fällen ist die Angabe ihres Auftretens scheinbar bloß darauf zurückzuführen, daß sie sich zufällig der Beobachtung aufdrängten. Eine Einsicht in diese Verhältnisse wird auch dadurch erschwert, daß es dort, wo mehrere Embryosäcke vorliegen, in vielen Fällen — als Beispiel sei auf die Beschreibung von *Delphinium* (**33**, Taf. XVII, Abb. 9) und *Cabomba piauhiensis* (**8**, p. 378) hingewiesen — nicht zu entnehmen ist, ob sie von verschiedenen Archesporzellen oder von den Zellen einer einzigen Tetrade abzuleiten sind. Trotzdem ist aber die Bedeutung dieses Merkmals bereits von Mottier erkannt worden, indem er (**33**, p. 300) sagt »Although the presence of more than one embryosac has been observed by several investigators in widely separated families, yet further resurch will undoubtedly show the phenomenon to be still more prevalent . . , Just how far this fact will through light upon the origin of the angiosperms remains yet to be seen. but it certainly contributes to the phylogeny of the seed plants«. Es ist ferner auch zweifellos, daß dieses Merkmal bei einer konsequenten Berücksichtigung für die systematische Reihenbildung von großem Wert sein könnte. Wenn man jedoch auf Grund des bisherigen Beobachtungsmaterials überhaupt zu irgendwelchen provisorischen Schlußfolgerungen berechtigt ist, so möchte man behaupten, daß es verhältnismäßig selten zur Ausbildung mehrerer reifer Embryosäcke kommt. Selbst in Formenkreisen, für die man ihr Auftreten als charakteristisch betrachten möchte, den Monochlamydeen und Rosaceen, liegt nur eine begrenzte Zahl von Angaben vor. Dies dürfte sich aber vielleicht doch nur teilweise durch die wenig eingehende Behandlung dieses Merkmals erklären. Es könnte wohl schon jetzt als Tatsache erscheinen, daß selbst bei Vertretern mit mächtigen Archesporgeweben wie zum Beispiel bei *Carpinus* (**2**, p. 415) die Zahl der reifen Embryosäcke gering ist und keineswegs in Proportion zum Umfang des Archespors steht. Aber nicht nur die Ausbildung reifer Embryosäcke, auch das Vorkommen mehrerer Makrosporen mit geringerer Kernzahl ist im mächtigen Archesporgewebe seltener als man erwarten möchte. Darauf ist bereits von Conrad (**5**, p. 413) hingewiesen worden, der hervorhebt, daß es in Anbetracht der außerordentlich großen Mächtigkeit des Archesporgewebes, das zwanzig bis sechzig Zellen aufweisen kann, »has been a matter of surprise that the phenomenon of a twocelled stage or a fourcelled stage in more than one megaspore in the same nucellus does not more frequently occur. This condition, however we may better appreciate when we have learned more of the causes which determine the fate of a cell«. Gerade vom Standpunkt der Zellmechanik dürfte eine eingehendere Behandlung dieser Stadien aber von großem Interesse sein.

Was nun die Beobachtung Nitzschkes betrifft, daß »die in Mehrzahl ausgebildeten Embryosäcke oder ihre Mutterzellen größer waren als die einfachen Embryosäcke« (**37**, p. 235), so konnte ich sie auch für mein Material, wenn auch nicht ausnahmslos, bestätigen. Es scheint mir aber jedenfalls notwendig, an Stelle von Nitzschkes »recht eigentümlichem« (**43**, p. 120), gewissermaßen teleologischem Erklärungsversuch dieser Erscheinung einen streng kausalen zu setzen. Diese von ihm beobachtete Vergrößerung der in Mehrzahl ausgebildeten Embryosäcke läßt sich wohl nicht damit erklären, daß »dort, wo zwei Embryosackanlagen sich in die von der Chalaza kommenden Nährstoffe teilen müssen, jede möglichst nahe an die Nährstoffquelle zu gelangen suchen, oder vielleicht durch ein Verbeiwachsen an der Nebenanlage dieser die Hauptmasse ihrer Nahrung abzuschneiden und sie dadurch nicht nur im Längenwachstum, sondern auch in ihrer Nahrungsaufnahme zu übervorteilen suchen wird« (**37**, p. 235), sondern damit, daß die günstigen Ernährungsverhältnisse, die gerade zur Ausbildung mehrerer Embryosäcke geführt haben, auch ihr besonderes Wachstum veranlassen können.

Der reife Embryosack ist bei *Aristolochia* ebenso wie bei *Asarum* vier bis fünf Zellschichten tief unterhalb der Epidermis gelegen, achtkernig und bipolar gebaut. Die Polkerne verschmelzen in der Mitte des Embryosackes. Die polaren Kerne umgeben sich mit Membranen. Bis zu diesem Zeitpunkt zeigt die Entwicklung der beiden Embryosäcke große Übereinstimmung, in den späteren Stadien weist sie dagegen bedeutende Differenzen auf. Während bei *Asarum* zur Zeit der Reife eine ganz auffallende Prädominanz des chalazalen Poles zu erkennen ist, die in den bereits von Hofmeister (**15,** p. 568) beschriebenen haustoriellen Vergrößerung der drei Antipoden ihren Ausdruck findet, zeigen die chalazalen Zellen bei *Aristolochia* zu diesem Zeitpunkt nur ganz geringe Dimensionen und sind sogar vielfach bereits in Schrumpfung begriffen. Während jedoch die Synergiden und die Eizelle von *Asarum* stets eine ganz geringe Größe aufweisen, nehmen diese Zellen bei *Aristolochia* eine mächtige Entwicklung und erfüllen endlich etwa ein Dritteil des Embryosackes. Diese Verhältnisse dürften wohl von prinzipiellem Interesse sein. Sie lassen ersehen, daß die günstigen Ernährungsverhältnisse, die bei andern *Polycarpicae* zur haustoriellen Vergrößerung der chalazalen Endospermkammer führt, bei zwei so nahe verwandten Gattungen wie *Asarum* und *Aristolochia* ganz verschiedene Reaktionen auszulösen vermag, daß zwei so nahe verwandte Formen sich ferner auch, was die Morphologie der Synergiden und Antipoden betrifft, ganz verschiedenartig verhalten können.

Der Embryosack liegt bei beiden Gattungen im Reifestadium noch vier bis sechs Zellschichten tief im Nucellargewebe eingebettet. Dieses Nucellargewebe besteht an der Chalaza aus langgestreckten größeren Zellen, die etwas dickere, stark tingierbare Zellwände aufweisen. Das innere Integument überragt zu diesem Zeitpunkt das äußere und ist an der Spitze bis auf einen schmalen Mikropylenkanal verwachsen.

Das Stadium der Endospermbildung lag mir leider nur für *Asarum* vor. Bei dieser Gattung folgt jeder Teilung des Endospermkerns unmittelbar eine Wandbildung nach. Die so entstehenden Wände sind zuerst senkrecht zur Längsachse des Embryosackes gerichtet. Auf diese Weise kommt es zur Ausbildung des gleichen Strickleiterstadiums, wie es bereits für die Anonaceen beschrieben worden ist. Dieselbe Modifikation ist von Hofmeister auch für *Aristolochia* festgestellt worden (**15,** Taf. X, Abb. VII). Ob aber die chalazale Endospermzelle bei dieser Gattung eine Vergrößerung zeigt und die haustoriellen Antipoden von *Asarum* funktionell ersetzen kann, bedarf noch der Feststellung. Das Auftreten zellularen Endosperms bei Ausbildung mächtiger haustorieller Antipoden, wie es sich bei *Asarum* findet, bietet aber wohl auch vom Standpunkt der Korrelation der Merkmale großes Interesse.

Die Entwicklung eines Embryos konnte in dem mir zur Verfügung stehenden, je von einem einzigen Standort, dem botanischen Garten von Göteborg, respektive von Wien, stammenden Material leider nicht festgestellt werden. Gerade in Anbetracht dessen erscheint aber die so überaus häufige Entwicklung des Endosperms bei *Asarum* auffallend. Die Vermutung läßt sich nicht abweisen, daß wir es hier mit einer parthenogenetischen Endospermbildung zu tun haben. In diesem Sinne würde es jedenfalls auch sprechen, daß Hofmeister (**15,** p. 569) »in einem Falle deutlich beobachten konnte, daß die (Endosperm-) Zellbildung im Embryosack eintrat, bevor der Pollenschlauch . . . den Scheitel des Embryosackes erreicht hatte«. Sollte sich dies aber tatsächlich bestätigen, so könnte die Tatsache, daß wir es hier wohl mit der Ausbildung parthenogenetischen Endosperms, nicht aber mit der Entwicklung eines parthenogenetischen Embryos zu tun haben, mit der Art der Polarität des Embryosackes in Beziehung gebracht werden. Die relative Begünstigung des chalazalen Poles, wie sie in dem gewaltigen Wachstum der Antipoden zum Ausdruck kommt, dürfte es in diesem Sinne auch verständlich erscheinen lassen, daß der primäre Endospermkern über den Eikern die Vorherrschaft gewinnt.

Auf diese morphologische Betrachtung möchte ich mich vorläufig beschränken und von einem embryologisch-phylogenetischen Vergleich der *Polycarpicae* einstweilen noch absehen. Für einen solchen Vergleich scheint nicht nur das Befundmaterial der andern Familien noch nicht auszureichen, er würde auch erst eine Ergänzung der hier gegebenen Beschreibung als wünschenswert erscheinen lassen.

Es erübrigt mir nur noch Herrn cand. phil. Hans Neumayr für seine bereitwillige Materialbeschaffung meinen Dank auszusprechen. Bei der Herstellung von Präparaten leistete mir der unterdessen dahingeschiedene Präparator des I. Zoologischen Instituts in Wien, Herr Karl Bergmann, vortreffliche Dienste.

Literaturverzeichnis.

1. Andrews F. M., Development of the embryosac of Jeffersonia diphylla. Bot. Gaz XX, 1895.
2. Benson M., Contributions to the embryology of the Amentiferae. Trans. Linn. Soc. III, 10, 1894.
3. Bernard Ch., Sur l'embryogénie de quelques plantes parasites. Journ. d. Bot. 6e sér. 1903.
4. Chodat R. et Bernard C., Embryologie du Cytinus hypocystis. Arch. d. Scienc. phys. et nat. XIII, 1902.
5. Conrad A. H., A contribution to the life history of Quercus. Bot. Gaz. XXIX, 1900.
6. Cook M. T., The embryogeny of som Cuban Nymphaeaceae. Bot. Gaz, XLII, 1906.
7. — Development of the embryo-sac and embryo of Castalia odorata and Nymphaea advena. Bull. Torr. bot. Club 29, 1902.
8. — Notes on the embryology of the Nymphaeaceae. Bot. Gaz, XLVIII, 1906.
9. Coulter J. M. and Chamberlain Ph., Morphology of Angiosperms. New York and London 1903.
10. Coulter J. M., Contribution to the life-history of Ranunculus. Bot. Gaz. XXV, 1898.
11. Ernst A. und Schmid E., Embryosackentwicklung und Befruchtung bei Rafflesia Patma. Ann. du jard. bot. Buit., 1913.
12. Gohlke K., Die Brauchbarkeit der Serumdiagnostik für den Nachweis zweifelhafter Verwandtschaftsverhältnisse im Pflanzenreich. Stuttgart u. Berlin 1913.
13. Herms W. B., Contributions to the life-history of Asimina triloba. Ohio, Nat. VIII, 1907.
14. Himmelbaur W., Berberidaceen und ihre Stellung im System. Denkschr. d. mathem.-naturw. Klasse d. Kais. Ak. d. Wiss. Wien 1913.
15. Hofmeister W., Neue Beiträge zur Kenntnis der Embryobildung der Phanerogamen. Abhdlg. d. k. sächs. Ges. d. Wiss. VI.
16. Holferty G. M., Ovule and embryo of Potamogeton natans. Bot. Gaz. XXXI, 1901.
17. Holmgren J., Zur Entwicklungsgeschichte von Butomus umbellatus. Svensk bot. Tidskr. Bd. 7, 1913.
18. Jacobsson-Stiasny E., Versuch einer embryologisch-phylogenetischen Bearbeitung der Rosaceae. Sitzgsber. d. kais. Ak. d. Wiss. Wien 1914.
19. — Fragen vergleichender Embryologie der Pflanzen I. Formenreihen mit sechzehnkernigen Embryosäcken. Sitzgsber. d. k. Ak. d. Wissensch. 1916.
20. Juel H. O., Zur Entwicklungsgeschichte des Samens von Cynomorium. Beihefte z. bot. Centralbl. XIII, 1903.
21. Jönsson B., Om embryosäckens utveckling hos Angiospermerna. Acta Univ. Lund. XVI, 1880.
22. Karsten G., Über die Entwicklung der weiblichen Blüten einiger Iuglandaceen. Flora 90. Bd. 1902.
23. Körnicke M., Studien an Embryosackmutterzellen. Sitzungsber. der niederrhein. Ges. für Natur- und Heilkunde. Bonn 1901.
24. Lange L., Sero-diagnostische Untersuchungen über die Verwandtschaft innerhalb der Pflanzengruppe der Ranales. Diss. Königsberg 1913.
25. Lloyd F. E., Comparative embryology of the Rubiaceae. Mem. Torr. Bot. Club VIII, 1902.
26. Longo B., Osservazioni sulle Calycanthaceae. Ann. d. reale Istit. bot. di Roma 1902.
27. Malte M. O., Embryologiska och Cytologiska Undersökningar öfver Mercurialis annua L. Diss. Lund 1910.

28. Maneval W. E., The development of Magnolia and Liriodendron including a discussion of the primitivness of the Magnoliaceae. Bot. Gaz. LVII, 1914.
29. Mann G., The embryosac of Myosurus minimus. Trans. Bot. Soc. Edin. V. XIX, 1891.
30. Mez C. u. Lange L., Sero-diagnostische Untersuchungen über die Verwandtschaften innerhalb der Pflanzengruppe der Ranales. Beiträge zur Biologie der Pflanzen, 12. Bd., 1914.
31. Mez C. und Gohlke K., Physiologisch-systematische Untersuchungen über die Verwandtschaften der Angiospermen. Beiträge zur Biologie der Pflanzen. 12. Bd., 1914.
32. Mirande M., Recherches sur le developpement des Cassythacées. Ann. Scienc. nat. 9e sér., II., 1905,
33. Mottier D. M., Contribution to the embryology of the Ranunculaceae. Bot. Gaz. 20., 1895.
34. Murbeck Sv., Parthenogenetische Embryobildung in der Gattung Alchemilla. Lunds Univ. Årsskr. Bd. 36, 1901.
35. — Über die Embryologie von Ruppia rostellata Koch. K. Sv. Vet.-Ak. Handl. Bd. 36., 1902.
36. — Über die Organisation, Biologie und Verwandtschaftsbeziehungen der Neuradoideen. Lunds Univ. Årsskr. N. F. Bd. 12., 1915.
37. Nitzschke J., Beiträge zur Phylogenie der Monokotylen, gegründet auf der Embryosackentwicklung apokarper Nymphäaceen und Helobien. Beiträge zur Biologie der Pflanzen. 12. Bd., 1914.
38. Osawa J., Cytological and experimental Studies in Citrus. Journ. of the Coll. of Agr. 1912, IV.
39. — On the development of the Pollengrain and embryo-sac of Daphne with special reference to the sterility of Daphne odora. Journ. of the Coll. of Agr. 1913, IV.
40. Osterwalder A., Beiträge zur Embryologie von Aconitum Napellus. L. Flora 85, 1898.
41. Overton J. B., Parthenogenesis in Thalictrum purpurascens. Bot. Gaz. XXXIII, 1902.
42. Pace L., The Gametophyte of Calopogon. Bot. Gaz. XLVIII, 1909.
43. Palm Bj., Studien über Konstruktionstypen und Entwicklungswege des Embryosackes der Angiospermen. Diss. Stockholm 1915.
44. Péchoutre P., Contribution a l'étude du développement de l'ovule et de la graine des Rosacées. Ann. Scienc. Nat. Bot. LT. XVI., 1902.
45. Roncati F. N., La formazione dell' endosperme nell' Anona. Atti Ac. Sc. Nat. Catania 18, 1905.
46. Treub M., Le sac embryonnaire et l'embryon dans les Angiospermes. Ann. jard. bot. d. Buit. 27, 1911.
47. Rosenberg O., Cytologische und morphologische Studien an Drosera longifolia und rotundifolia. K. Svensk. Vet. Ak. Handl. 43, 1909.
48. Samuelsson G., Über die Pollentwicklung von Anona und Aristolochia und ihre systematische Bedeutung. Svensk bot. Tidskr. 8, 1914.
49. Schacht H., Über Pflanzen-Befruchtung. Pringsheims Jahrbücher, I, 1858.
50. Seaton S., The development of the embryo-sac of Nymphaea advena. Bull. of the Torr. Bot. Club 35, 1908.
51. Shibata K., Experimentelle Studien über die Entwicklung des Endosperms bei Monotropa. Biolog. Zentralbl. 22, 1902.
52. Shreve F., The development and anatomy of Sarracenia purpurea. Bot. Gaz. XLII, 1906.
53. Solms-Laubach H., Über den Bau der Samen in den Familien der Rafflesiaceae und Hydnoraceae Bot. Zeit. 32, 1874.
54. — Die Entwicklung des Ovulums und des Samens bei Rafflesia und Brugmansia. Ann. jard. bot. Buit. 1897.
55. Souèges M. R., Recherches sur l'embryogénie des Renonculacées. Bull. Soc. bot. d. Fr. 57, 1910, 55*a*.—58, 1911.
56. Strasburger E., Ein Beitrag zur Kenntnis von Ceratophyllum submersum und phylogenetische Erörterungen. Jahrb. f. wiss. Bot. 37, 1902.
57. — Die Samenanlage von Drimys Winteri und die Endospermbildung bei Angiospermen. Flora 95. Bd., 1905.

58. Strasburger E., Zeitpunkt der Bestimmung des Geschlechts, Apogamie, Parthenogenesis und Reduktionsteilung. Histolog. Beiträge 1909.

59. — Sexuelle und apogame Fortpflanzung bei Urticaceen. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 47, 1910.

60. Tschernogarow M., Mem. d. l. soc. d. nat. d. Kiew 1915.

61. Täckholm G., Zur Kenntnis der Embryosackentwicklung von Lopezia coronata Andr. Svensk Bot. Tidskr. 8, 1914.

62. Velser J., Zur Entwicklungsgeschichte von Akebia quinata Dec. Diss. Bonn 1913.

63. Wettstein R. v., Handbuch der systematischen Botanik. Leipzig und Wien 1911.

64. Yasui Kono, Studies of Diospyros Kaki I. Bot. Gaz. LIV. 1915.

65. York H. H., The embryosac of Nelumbo. Ohio, Nat. IV 8, 1904.

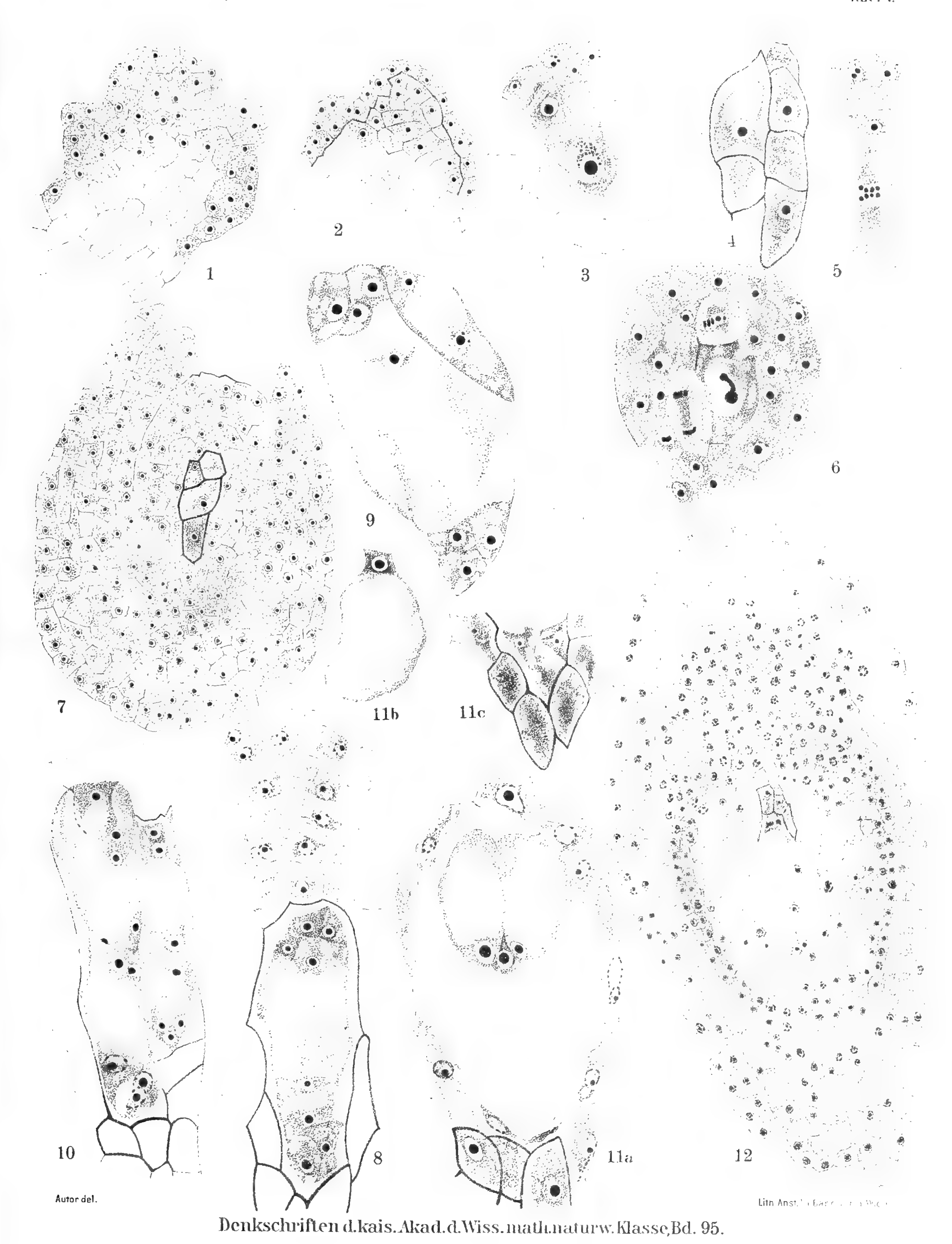
Tafel I.

Tafel I.

Aristolochia Clematitis.

Fig. 1. Längsschnitt durch eine Samenanlage. Stadium der Entwicklung des Int. int. Zeiss Obj. 4 + Zeiß Ocul. 6. Vergröß. ungef. 450.
» 2. Anlage des Int. ext. Vergröß. wie oben.
» 3. Junges Archespor. Zeiß Ölimm. + Ocul. 6. Vergröß. ungef. 950.
» 4. Vorkommen einer doppelten Tetrade. Zeiß Ölimm. + Ocul. 6. Vergröß. ungef. 950.
» 5. Heterotypische Teilung in Archespor. Zeiß Ölimm. + Ocul. 6. Vergröß. ungef. 950.
» 6. Andeutung eines zweizelligen Archespors. Zeiß Ölimm. + Zeiß Ocul. 6. Vergröß. ungef. 950.
» 7. Habitus der Samenanlage zur Zeit des Auftretens der Makrosporen. Zeiß Obj. 4 + Ocul. 6. Vergröß. ungef. 450.
» 8. Reifer Embryosack. Zeiß Ölimm. + Ocul. 6. Vergröß. ungef. 950.
» 9. Reifer Embryosack mit angrenzender zweikerniger Makrospore. Zeiß Ölimm. + Ocul 6. Vergröß. ungef. 950.
» 10. Ausbildung mehrerer Embryosäcke. Zeiß Ölimm. + Ocul. 6. Vergröß. ungef. 950.
» 11a. Reifer Embryosack; maximale Größe der Synergiden. Zeiß Ölimm. + Ocul. 6. Vergröß. ungef. 950.
» 11b. Eizelle dieses Embryosackes. Vergröß. wie oben.
» 11c. Antipoden dieses Embryosackes. Vergröß. wie oben.

(Gezeichnet mit Anwendung von Zeiß Zeichenapparat.)



Autor del.

Lith. Anst. ...

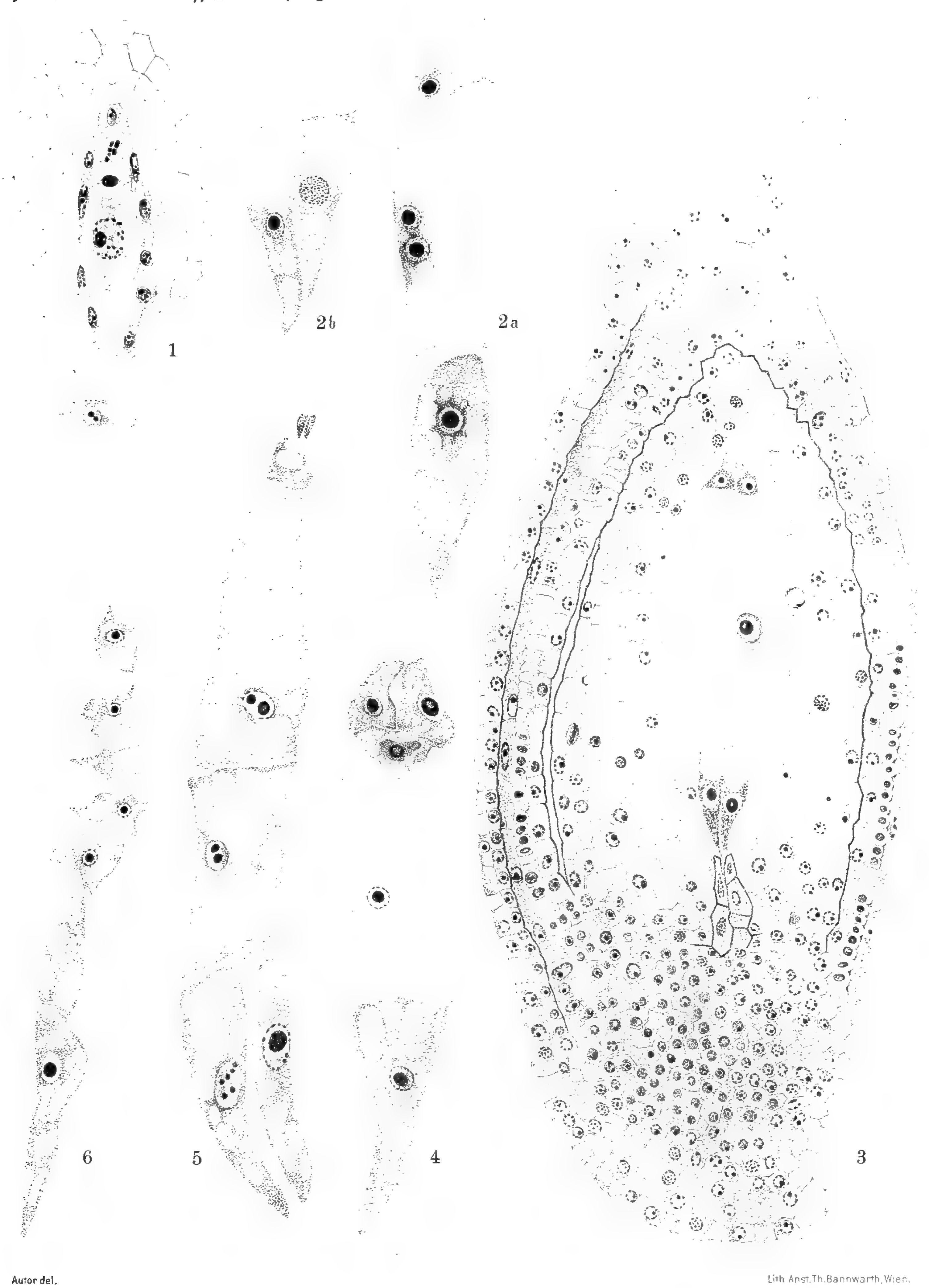
Tafel II.

Tafel II.

Asarum europaeum.

Fig. 1. Stadium der Makrosporenbildung. Zeiß Ölimm. + Zeiß Ocul. 6. Vergröß. 1000 (halbe Größe).
» 2a. Embryosack vor Verschmelzung der Polkerne; oben ist der Eikern, unten eine Antipode sichtbar. Zeiß Obj. 4 + Zeiß Ocul. 6.
» 2b. Die beiden andern Antipoden des reifen Embryosackes. Vergröß. wie in 2a.
» 3. Habitusbild der Samenanlage zur Zeit der Reife des Embryosackes. Zeiß Obj. 16 + Ocul. 12. Vergröß. beil. 300.
» 4. Embryosack nach Verschmelzung der Polkerne. Zeiß Obj. 4 + Ocul. 8.
» 5. Stadium der Endospermbildung; oben Reste der Synergiden, unten zwei mächtige Antipoden. Zeiß Obj. 4 + Zeiß Ocul. 6.
» 6. Späteres Stadium der Endospermbildung; oben Eizelle, unten eine Antipode in maximaler Größe. Zeiß Obj. 4 + Zeiß Ocul. 2.

(Fig. 1 gezeichnet mit Anwendung von Zeiß Zeichenapparat; die anderen Fig. frei.)



Autor del.

Lith. Anst. Th. Bannwarth, Wien.

WISSENSCHAFTLICHE ERGEBNISSE DER MIT UNTERSTÜTZUNG DER KAISERLICHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN IN WIEN AUS DER ERBSCHAFT TREITL VON F. WERNER UNTERNOMMENEN ZOOLOGISCHEN EXPEDITION NACH DEM ANGLO-ÄGYPTISCHEN SUDAN (KORDOFAN) 1914.

III. MANTODEA
(INSECTA ORTHOPTERA OOTHECARIA)

VON

F. WERNER

MIT 6 TEXTFIGUREN

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 8. FEBRUAR 1917

Die Ausbeute der Sudan-Reise 1914 ist, was die Artenzahl anbelangt, hinter derjenigen von 1905 nicht zurückgeblieben (beidemale 26 Arten); an neuen Formen dagegen ist sie erheblich ärmer, denn es wurden drei neue Arten (aus den Gattungen *Compsothespsis, Eremiaphila* und *Paroxyophthalmus*) gefunden, gegen 8 im Jahre 1905, von denen 3 neue Gattungen repräsentierten. Von diesen damals neuen 8 Arten wurden 3 (*Pyrgomantis septentrionalis, Ischnomantis attarensis, Calamothespis adusta*) in Kordofan wiedergefunden; außerdem noch weitere 13 Arten, so daß also etwa zwei Drittel der diesmaligen Zahl beiden Reisen gemeinsam, außer den drei jetzt neu beschriebenen Arten noch vier neu für den Sudan (*Carvilia agrionina, Calidomantis fenestrata, Danuria serratodentata* und *Idolomorpha defoliata*), 4 weitere, zwar nicht neu, aber auf der früheren Reise nicht gefunden (*Tarachodes dives, Danuria impannosa* und *Blepharodes sudanensis*) sind. Die Gattungen *Compsothespis* und *Carvilia* sind überhaupt neu für den Sudan.

Wenn man den Entwicklungszustand betrachtet, in dem sich die Individuen der einzelnen Arten befinden, so fällt es auf, daß im Vergleich zu denjenigen, die auch im Imaginalzustande vorliegen, die bloß als Larven oder Nymphen gesammelten stark vorwiegen; denn von den 26 Arten sind bloß 10, also 40% in entwickelten Tieren vertreten. Bei der Reise im Jahre 1905, die zur selben Jahreszeit stattfand, war das Verhältnis umgekehrt, da hier auf 15 im Imaginalzustande gesammelte Arten nur 11 bloß im Larven- oder Nymphenstadium vorliegende kommen.

Betrachtet man die Sache aber näher, so ist es ganz evident, daß der Unterschied durch diejenigen Arten hervorgerufen wird, die vom oberen Nil (Bor bis Gondokoro) stammen: *Paramorphoscelis, Tarachina, Galepsus capitatus, Pyrgomantis septentrionalis* und *mabuia, Mantis religiosa, Cali-*

domantis pharaonica; die übrigen gehören zu Arten oder wenigstens Gattungen, die in Kordofan oder Nubaland auch schon im Imagostadium gefunden wurden: *Tarachodes* (*dives* in Nubaland, *obtusiceps* am Weißen Nil), *Elaea Marchali, Tenodera herbacea, Hoplocorypha galeata, Oxythespis senegalensis.* Es ist also der beträchtliche Breitenunterschied (etwa 5 Grade), der die frühere Erlangung der Geschlechtsreife bedingt, wie namentlich bei *Galepsus, Pyrgomantis, Mantis* und *Calidomantis* ersichtlich ist.

Aus der am Schlusse der Arbeit angehängten Verbreitungstabelle geht hervor, daß die Nubaprovinz in der Artenzahl dem Gebiete des Weißen Nils gleichkommt, und nur wenig gegen das Gebiet am Oberen Bahr-el-Gebel zurücksteht.

Wir sind natürlich weit davon entfernt, eine auch nur einigermaßen vollkommene Kenntnis von der Verbreitung der Arten im Sudan zu besitzen; immerhin können wir aber schon jetzt erkennen, daß eine Anzahl von Arten eine recht weite Verbreitung haben, da sie in weit voneinander entfernten, Teilen des Landes gefunden wurden; hieher gehört zum Beispiel *Galepsus capitatus, Pyrgomantis septentrionalis* und *singularis, Elaea marchali, Calidomantis Savignyi* und *pharaonica, Mantis religiosa, Hoplocorypha galeata, Solygia sulcatifrons, Oxypila annulata, Pseudoharpax virescens, Stenovates pantherina, Danuria impannosa, Oxythespis senegalensis, Calamothespis adusta, Idolomorpha dentifrons* und *Idolum diabolicum,* also etwa ein Drittel aller bekannten Arten; der Rest ist ziemlich lokal, auf eine einzige Provinz oder zwei benachbarte beschränkt.

Über die Ökologie der einzelnen Arten habe ich kaum mehr etwas meinen früheren Ausführungen hinzuzufügen. Die Hauptmasse aller Arten bilden typische Steppentiere; den Wüsten von Kordofan und Dongola, Khartoum und Port Sudan gehören die Eremiaphilen, den Sumpfgebieten *Pseudoharpax* an; Akazienrindenbewohner ist zum mindesten *Elaea,* ausschließliches Urwaldtier wahrscheinlich *Idolum* (obwohl wir leider gerade über sudanesische Exemplare dieser überaus merkwürdigen *Mantide* gar nichts wissen). Der Umstand, daß *Stenovates pantherina* Sauss. den wüsten- oder steppenartigen, wesentlich paläarktischen Norden, die von ihr abzuleitende *Heterochaeta orientalis* Kirby aber den äthiopischen Süden des Sudan bewohnt, dürfte wohl als Stütze meiner Ansicht über die Entstehung der Augen- und Coxalanhänge letzterer Gattung (Jahrb. Württ. Ver. f. Naturk. 1906, p. 376) anzusehen sein, die auch Griffini annimmt (Ann. Mus. Genova [3 III. 1907, p. 417), wenn er auch *Stenovates* von der westlichen *Heterochaeta* (*tenuipes* Westw.) ableitet. [1]

Amorphoscelidae.

Compsothespis Ebneri n. sp.

♂ vom Gebel Gulfan, 24./III. (leg. Ebner).

Dieses ist die erste im Sudan gefundene Art der mit einer einzigen Ausnahme rein äthiopischen Gattung. Sie unterscheidet sich durch das Fehlen des kleinen äußeren Augenvorsprunges von *C. anomala* Sauss., durch die kürzeren, den Hinterrand des zweiten Abdominalsegmentes eben erreichenden Elytren von *C. falcifera* Rehn (von dieser auch durch die an der Basis nicht rosenroten, sondern gelben Hinterflügel), *australiensis* und *natalica* Westw. (von diesen beiden auch noch durch den trüben dunklen Randsaum der Hinterflügel); schließlich von *Kilwana* G. T. und *marginipennis* Wern. durch die besondere Breite des Hinterflügelrandsaumes und das dicht mit stachelförmigen Körnchen besetzte Pronotum (und Prosternum).

Gesamtlänge 41·5, Länge des Pronotums 11·7, der Elytren 12·2 und der vorderen Femora 5·0 *mm.*

---

[1] Reiseroute unserer Expedition und Karte des bereisten Gebietes siehe diese Denkschriften, 93. Bd., 1916 (Wiss. Ergeb. I., *Lepidoptera,* bearbeitet von Rebel u. Zerny); Schilderung der biolog. Verhältnisse ebenda, 94. Bd., 1917 (Wiss. Ergeb. II, Vögel und Säugetiere, bearbeitet von O. v. Wettstein.

Färbung des dürren Grases, in dem das Tier lebt; Hinterflügel an der Basis gelb, mit sehr breitem schwarzem Randsaum.

Orthoderidae.

Eremiaphila Wettsteini n. sp.

♀ (Nymphe) von Port Sudan, 1. V. (leg. Ebner).

Gesamtlänge 21, Länge und Breite des Pronotums 4·4, Länge der vorderen Femora 5·5, der mittleren 7 und der hinteren 9·3 *mm*. Breite des Kopfes 5·2 *mm*.

Clypeus trapezförmig, breiter als hoch, am Vorderrand jederseits eingeschnitten. Pronotum mit wenig vortretenden Höckern, konvexem Vorderrande, fast geraden, nach hinten schwach konvergierenden Seitenrändern, konvexem Hinterrande ohne medianen Zahn. Anterolaterale Ecke abgerundet, posterolaterale Ecke mit spitzem Zahn. Abdominaltergite am Hinterrande nicht wellig, ohne vorragenden Mittelzahn. Vordere Femora innenseits mit zahlreichen kammartig angeordneten Dornen, die beiden basalen von den folgenden etwas getrennt, der zweite erheblich länger als der erste und alle folgenden; diese apikalwärts an Länge abnehmend; 5 äußere und 14 innere Tibialdornen; Metatarsus etwa ebenso lang wie die übrigen Tarsalglieder zusammen, Femora und Tibien der Mittel- und Hinterbeine nicht kantig, Geniculardornen lang.

Oberseite hellrotbraun, dicht dunkler getüpfelt; Mittel- und Hinterbeine mehr grau, breit dunkel gebändert. Vordercoxen innen mit breitem schwarzem Querband, das aber basal- und apikalwärts noch ein beträchtliches Stück der weißen Grundfarbe frei läßt; Femur innen mit blaugrauem medianem Längsband, an dessen Basis ein schwarzer Fleck. Unterseite gelblichweiß.

Fig. 1.





Diese Art läßt sich von den verwandten Arten in folgender Weise leicht unterscheiden:

Von *E.* (*Centromantis*) *Hedenborgi* durch die nicht rotbraune Innenseite der vorderen Femora.

Von *E. Klunzingeri* durch die innenseits nicht ganz schwarzen Vordercoxen.

Von *E. cordofana* durch das Fehlen der dreieckigen medianen Fortsätze der Abdominaltergite.

Von allen zusammen aber unterscheidet sie sich durch einen rundlichen schwielenartigen Fleck auf dem Vorderrande der Innenseite der vorderen Femora, und zwar am Ende des zweiten Drittels. Bei genauerer Betrachtung erweist sich dieser Fleck aus lauter winzigen Dörnchen zusammengesetzt. Es ist möglich, daß es sich hier um einen Stridulationsapparat handelt; bekanntlich finden wir ja gerade bei Mantodeen einen solchen beim ♀ ausgebildet (*Sphodromantis, Hierodula*), anstatt wie sonst bei den meisten Insekten im männlichen Geschlechte.

Elaea Marchali (Reiche et Fairm.).

Werner, Sitzber. Akad. Wiss., Wien, Bd. CXVI, 1907, p. 230.
— Annuaire Mus. Zool., St. Petersbourg, XIII, 1908, p. 114.
— Zool. Jahrb., Syst. XXVII, 1908, p. 91, und XXXIX, 1913, p. 210.
— Arch. Naturg., 81, 1915, Abt. A, p. 79.
— Berl. Entomolog. Zeitschr., LVII, 1912, p. 14.

♀ von Bara, 7. III. ♀ von Talodi, 4. V. ♂ Nymphe von Bir Joghan, 8. IV. ♂ Nymphe von Port Sudan, 1. V.

Ich habe meinen Bemerkungen über diese weitverbreitete, wenn auch stets nur recht vereinzelt vorkommende Art nichts hinzuzufügen. Sie lebt überall in gleicher Weise an Akazienstämmen, wie ich auch dies bereits früher beschrieben habe. ♂ Imagines habe ich auch diesmal nicht gefunden.

Tarachodes dives (Sauss.).

Werner, Sitzber. Akad. Wiss., Wien, Bd. CXIV, 1907, p. 202.
— Annuaire Mus. Zool. St. Petersbourg, XIII, 1908, p. 111.
— Berl. Ent. Zeitschr., LVII, 1912, p. 15.

♂ von Homra, 30./III. (zum Licht geflogen } leg. Ebner.
♂ Nymphe vom Wege Keiga Tummero-Kadugli, 27./III. } leg. Ebner.

Wie ich in der letzterwähnten Arbeit bereits hervorhob, hat Giglio-Tos ganz gegen die Prioritätsgesetze der Saussure'schen *T. dives* den Artnamen entzogen und sie in *T. saussurei* umgetauft, obwohl die *T. dives* zuerst nach dem ♂ beschrieben wurde, welches einen gebogenen Vertex besitzt und daher nichts mit der Art zu tun hat, die Giglio-Tos als *dives* betrachtet und sich auf ein ♀ mit geradem Vertex gründet. Ich habe das ♂ von Homra mit der Type von *T. dives* Sauss. im Mus. Caes. Vindobon. verglichen und vollkommen übereinstimmend gefunden.

Nach der Bestimmungstabelle von Giglio-Tos würde man auf die westafrikanische *T. maculisternum* Sjört. kommen — da diese auch schon in Oberägypten (Kosseir am Roten Meer) gefunden wurde, wäre die Möglichkeit des Vorkommens im Sudan nicht von der Hand zu weisen; doch ist das Prosternum nicht mit einem großen dunklen Fleck, sondern mit einer dunklen Querbinde versehen und es fehlt auch die Behaarung an der Innenseite der Vorderfemora.

Diese Art ist aus Sennaar, ferner aus Senegambien, Abessynien und Somaliland bekannt.

Die Nachuntersuchung des *T. dives* Sauss. hat mich dazu geführt, nicht nur eine Anzahl von weiteren Arten nachzuprüfen, in denen gegenwärtig offenbare Verwirrung herrscht, sondern auch den Versuch zu machen, die mit der Arbeit von Giglio-Tos neu beschriebenen Arten an der richtigen Stelle einzureihen und ihre Verwandtschaft, beziehungsweise Identität mit den bisher bekannten zu eruieren, soweit dies ohne Untersuchung der meist ganz unzugänglichen Typen möglich war. Ich hoffe dadurch zur Kenntnis der ungemein schwierigen Gattung neuerlich einige brauchbare Daten beigetragen zu haben.

Ich stelle also nochmals fest: Nach abermaligem Vergleich der Type von *T. dives* Sauss. vom Senegal ergibt sich, daß diese Art einen etwas gebogenen, auf keinen Fall einen quer abgestutzten Vertex hat. Die von Giglio-Tos für *dives* gehaltene Art ist daher nicht damit identisch. *T. Saussurei* G. T. = *T. dives* Sauss. Die Type von *T. dives* hat kein dunkles Querband des Clypeus und einen dunklen Fleck auf der Innenseite des Trochanter der Vorderbeine, dagegen keine dunklen Fleckenpaare auf der Unterseite der Abdominalsegmente. Das Exemplar von Homra hat keinen Punkt auf dem Trochantes und eine ziemlich deutliche Querbinde des Clypeus; Exemplare von Ghinda und Cheren, Erythraea haben eine sehr deutliche Clypeusquerbinde, einen deutlichen Trochanterpunkt und einen breiteren und dunkleren Längsstreifen auf der Innenseite der Vorderfemora, als die beiden vorerwähnten Exemplare. Dem Vorgange von Giglio-Tos folgend, müßte man diese vier Exemplare aut drei Arten verteilen. Dagegen ist mir keine *Tarachodes*-Art bekannt, die der von Giglio-Tos für *dives* gehaltenen Art (Saussure's ♀ aus Benguella) entspricht, nachdem dieser Autor ihre Nichtidentität mit *perloides* festgestellt hat; am ähnlichsten ist sie noch *T. insidiator* W. M., die ich aber von *sancta* Sauss. nicht trennen kann.

Die Querbänderung des Clypeus ist meines Erachtens als Artcharakter unwesentlich; *T. Karschii* aus Ginga Country, Angola und aus Kamerun haben kein Querband, solche aus Erythraea (Asmara) und Abessynien (Diré Daua) ein sehr deutliches; dunkle Punktpaare der Abdominalsternite und irgendwelche dunkle Zeichnungen auf der Unterseite der Vorderbeine fehlen aber beiden und auch sonst existiert kein Unterschied von Belang. Ebenso hat das ♂ von *T. dissimulator* W. M. des Wiener Museums kein Querband auf der Stirn, wohl aber eine ♀ Nymphe in meiner Sammlung.

T. sancta hat einen gerade abgestutzten Vertex; Giglio-Tos hat zwar das von mir untersuchte ♀ von Bondei, Usambara nachgeprüft, jedenfalls aber nicht die Typen der Art im Wiener

Museum; er gibt aber an »vertex leviter rotundatus«. Ebenso beschreibt er die Innenseite der Vordercoxen als schwarz, obwohl Saussure nur schreibt »hanches antérieures....a face interne jaune ou obscurcie« (beim ♀); das heißt sie sind manchmal braun (durch das Trocknen braun geworden). Damit fallen alle Unterschiede von *T. insidiator* W. M. zusammen.

Giglio-Tos zieht das von mir als *Tarachodes perloides* ♂ abgebildete Exemplar zu *T. maura*, da aber diese Art dunkle Fleckenpaare auf der Unterseite des Abdomens besitzt, ich aber meine *T. perloides* (p. 208) ausdrücklich durch das Fehlen dieser Flecke charakterisiert habe, so kann seine Identifizierung bei der großen Konstanz dieser Zeichnung nicht richtig sein. Das ♂ von *T. maura* habe ich übrigens (p. 212) beschrieben, konnte es also schon damals von meiner *T. perloides* unterscheiden. Diese letztere Art muß also neu benannt werden und ich schlage dafür den Namen *T. burmeisteri* vor (Werner, Sitzber. Ak. Wiss. Wien, CXVI, 1907, p. 208, Taf. III, Fig. 1, 2 [*perloides* nec. Burm.]), falls es sich nicht herausstellen sollte, daß sie mit der mir unbekannten *T. karnyi* G. T. identisch ist. Bei der Identifizierung meines *perloides* hat Giglio-Tos übrigens dieselbe Abbildung (Taf. III, Fig. 2) einmal für *maura* (Mant. Esot., p. 100) einmal für *dives* (l. c., p. 108) in Anspruch genommen, obwohl ich für *perloides* (p. 209) ausdrücklich schwarze Vordercoxen angegeben habe, was weder für das Saussure'sche *dives*-♀ noch für die echte *T. dives* (Saussure's ♂ Type von Senegal) zutrifft, die beide eine helle Innenseite der Vorderbeine haben.

Giglio-Tos ist der Meinung, daß ich *T. irrorata* und *afzelii* verwechselt habe. Er hat aber übersehen, daß Stål seine *afzelii* nur nach 2♀ beschrieben hat, daß ich eine der Stål'schen Typen und außerdem 2 ♀ vom Originalfundorte, von Afzelius selbst gesammelt, selbst untersuchte (p. 206) und ausdrücklich hervorhob, daß sich hier der Dimorphismus der Geschlechter auch auf die Form des Vertex erstreckt, der beim ♀ nicht so scharfkantig ist wie beim ♂; ich habe auch bereits darauf hingewiesen, daß (wie auch Sjöstedt angibt) die Beine bei *afzelii* fast kahl, bei *irrorata* deutlich weiß behaart sind — ein Merkmal, das erheblich verläßlicher ist als die Vertexform und eine sichere Unterscheidung beider Arten erlaubt.

Nach diesen Bemerkungen möchte ich noch kurz die Synonymie der mir aus eigener Anschauung bekannten *Tarachodes*-Arten hier rekapitulieren und die inzwischen (seit Giglio-Tos) neu beschriebenen Arten an der ihnen zukommenden Stelle im System einreihen. Dabei möchte ich nicht unerwähnt lassen, daß ich jetzt mit Giglio-Tos darin völlig übereinstimme, die Gattung *Achlaena* (mit der einzigen Art *A. crypsichroma* Karsch [♀], wozu *Auchmomantis rohdii* Werner [♂] wohl auch der Art nach gehört: Werner, Verh. Zool. bot. Ges. Wien, 1916, p. 258) ganz aus der Gattung *Tarachodes* auszuscheiden, ja ich gehe sogar noch weiter und stelle sie in die Familie *Mantidae* in die Nähe der Gattung *Gonypeta*.

Zu *Ariusa* gehört außer *T. pantherina* Gerst. und *T. conspersa* Stål auch noch die ersterer nahe verwandte *T. nigricoxa* Sjöst. (Ent. Tijdskr. Bd. 30, 1913, p. 270) von Kigonsera, D. O. Afrika (siehe auch *T. brevipennis* Wern).

Zu *Tarachodes* s. str. (*Chiropacha* Charp.):

— *maura* Stål. (hiezu alle Zitate bei Giglio-Tos mit Ausnahme von *T. perloides* Wern., aber außerdem noch *T. werneri* Rehn).

— *burmeisteri* Wern. n. n. für *T. perloides* Wern., nec. Burm. (vielleicht identisch mit *T. Karnyi* G. T.)

— *bicornis* G. T. (gute Art, aber nicht kleiner als *T. maura*; ♀ aus Windhuk in Coll. m.).

— *irrorata* Gerst. (hiezu nicht als Synonym *T. afzelii* Wern., wohl aber *T. irrorata* Sjöst. in Orthopt. Kamerun, ferner das von mir zu *T. severini* Wern. gezogene ♂) ♀ aus Abutshi, Niger im Mus. Wien (Coll. Br.).

— *afzelii* Stål (hiezu nicht als Synonym *T. irrorata* Wern.).

Tarachodes dives Sauss. (Type nur das ♂ = *T. Saussurei* G. T.); alle anderen Zitate bei Giglio-Tos sind nachzuprüfen!

— *dissimulator* Wood-Mason (♂ von Bipindi; Kamerun im Mus. Wien, Coll. Br.).

— *severinii* Wern. (Arch. f. Naturg., 81. Bd., 1915, p. 80); nur das ♀ gehört hieher; verschieden von *irrorata* durch nicht granulirte Innenseite der Vordercoxen und breite dunkle Querbinden der Abdominalsternite (von den Rändern entfernt).

— *congolensis* Wern. (ebenda, p. 81).

— *sancta* Sauss. (hieher auch *T. insidiator* W. M. und vielleicht auch das von Saussure als ♀ von *dives* betrachtete Exemplar, obwohl dessen Pronotum zwei auffallend starke Tuberkel hinter dem Vorderrande aufweist).

— *Werneri* G. T. (nec. *T. Werneri* Rehn).

— *gilva* Charp. (von mir in Zool. Jahrb., Syst. XXXIV, 1913, p. 210, als *obtusiceps* angeführt, von der diese Form wohl nur eine Farbenvarietät vorstellt).

— *obtusiceps* Stål.

— *lucubrans* Burchell (hiezu nach Giglio-Tos *T. perloides* Burm. nec Wern).

— *fratercula* Rehn (Arch. f. Naturg., 1912, 78. Bd., p. 109. — Ob von voriger überhaupt verschieden?).

— *ugandensis* Wern. (Berl. Entom. Zeitschr., Bd. LVII, 1912, p. 15).

— *Karschii* Wern. (♂ von Ginga Country, Angola in Mus. Wien, Coll. Br.),

— *rotundiceps* Wern.

— *maculisternum* Sjöst.

— *gerstäckeri* Wern.

— *Sjöstedti* Wern. (von Rehn für Benguella, Angola angeführt).

— *pilosipes* Rehn (Proc. U. S. Nat. Mus., Vol. 42, 1912, Nr. 1910, p. 452, Textfig.).

— *minima* Wern.

— *signata* Karny (Jena, Denkschr., XIII, 1908, p. 364, Taf. XX, Fig. 3).

— *brevipennis* Wern (Arch. f. Naturg., 1915, Bd. 81, p. 81).

Diese Art könnte zur Untergattung *Ariusa* zu stellen sein, da es sich doch um ein ♀ mit glattem Pronotum handeln kann. Der Name wäre in diesem Falle nicht zutreffend. Von *T. nigricoxa* Sjöst. unterscheidet sich die Art leicht durch die geringere Größe, den gerade abgestutzten Vertex, das Fehlen der Querbinde des Clypeus und die Färbung. Die Form des Clypeus und des dunklen Prosternalfleckes sind übereinstimmend bei beiden Arten.

Giglio-Tos bezweifelt das Vorkommen von Sexualdimorphismus in bezug auf die Färbung der Innenseite der Vorderbeine, muß es aber freilich für die nahe verwandte Gattung *Galepsus* zugeben (zum Beispiel *G. dispar* Wern.). Auch sieht man häufig, daß an den vorderen Femora die schwarze Färbung beim ♀ die ganze Innenseite bedeckt und bis an die Dornenreihe heranreicht, während beim ♂ nur ein schmaler schwarzer Längsstreifen vorhanden ist (zum Beispiel *T. sancta*), daher kann man auch mit großer Wahrscheinlichkeit annehmen, daß zwei Individuen verschiedenen Geschlechtes zusammengehören, wenn keine anderen Verschiedenheiten als solche der Färbung der Innenseite der Vorderbeine vorhanden sind. Aber sosehr ich auch diese Merkmale für die Unterscheidung der Arten herangezogen habe, hier wie bei den Eremiaphilen, so darf doch nicht vergessen werden, daß auch sie variieren können; dies kommt bei den Vordercoxen am seltensten vor (wahrscheinlich niemals), dagegen ist die Breite des Längsstreifens des Femur und noch viel mehr die Größe, ja das Vorhandensein überhaupt eines dunklen Fleckes oder Punktes auf dem Trochanter sehr unbeständig.

Nach Einziehung der mir als nicht distinkt betrachteten Arten bleiben noch 43 (inkl. 4 *Ariusa*) übrig, die sich in der Weise auf Nordost-, Südost-, Süd-, Südwest- und Nordwestafrika verteilen (Nordost- und Nordwestafrika südlich der Sahara, Südafrika südlich von Cunene und Zambesi), daß auf Nordost 10 (1 *Ariusa*), auf Südost 16 (2 *Ariusa*), auf Süd 9 (1 *Ariusa*), auf Südwest 9 (1 *Ariusa*)

und auf Nordwest 12 (keine *Arüsa*) kommen. Die Verteilung ist also eine ziemlich gleichmäßige und dem geringen Vorwiegen im Südost- und Nordostafrika kann insolange keine besondere Bedeutung beigemessen werden, bis wir über den Wert der derzeitig angenommenen Artenmerkmale durch Studium eines noch größeren Materials eine bessere Kenntnis erlangt haben werden.

Galepsus capitatus (Sauss.).

Werner, Sitzber. Akad. Wiss., Wien, Bd. CXVI, 1917, p. 227.

— Annuaire Mus. Zool. St. Petersbourg, XIII, 1908, p. 112 (Tarachodes).

Giglio-Tos, Boll. Soc. Ent. Ital., XLII, 1910, p. 165.

♂ Larve von Sennaar, 22./II. ♂ Larve vom Weg Dilling-Gulfan, 23./III.

Ich weiß nicht, warum Giglio-Tos meine Beschreibung von *G. capitatus* auf seinen *Galepsus minutus* bezieht. Bei nochmaligem Vergleich meiner Exemplare aus dem Sudan und aus Abessynien finde ich, daß sie wirkliche *capitatus* sind und sich weder in der Größe noch in der Form der Augen noch schließlich in bezug auf die Hinterflügel (deutlich entwickelt und schwarz gefärbt) von dieser Art unterscheiden. Es ist übrigens möglich, daß Giglio-Tos eine Art aus der verwandten Gattung *Paroxyophthalmus* dem *G. minutus* zugrunde gelegt hat.

Das Exemplar von Sennaar ist graubraun mit dunklerer Zeichnung, auf dem Hinterrande der einzelnen Abdominaltergite stehen abwechselnd weiße und dunkelbraune Flecken; die braune Mitte des Pro-, Meso- und Metanotums ist von einer dunkten Doppellinie durchzogen. Vordere Coxen und Femora innen mit schwarzen Tüpfeln.

Das Nuba-Exemplar ist hellgelbbraun mit feinen, aus Punkten zusammengesetzten dunkler braunen Längslinien auf der Oberseite. Die mediane Doppellinie des Pro-, Meso- und Metanotums ist wie beim vorigen Exemplar vorhanden. Gliedmassen oberseits dunkel punktiert. Vordere Femora innen dunkel getüpfelt.

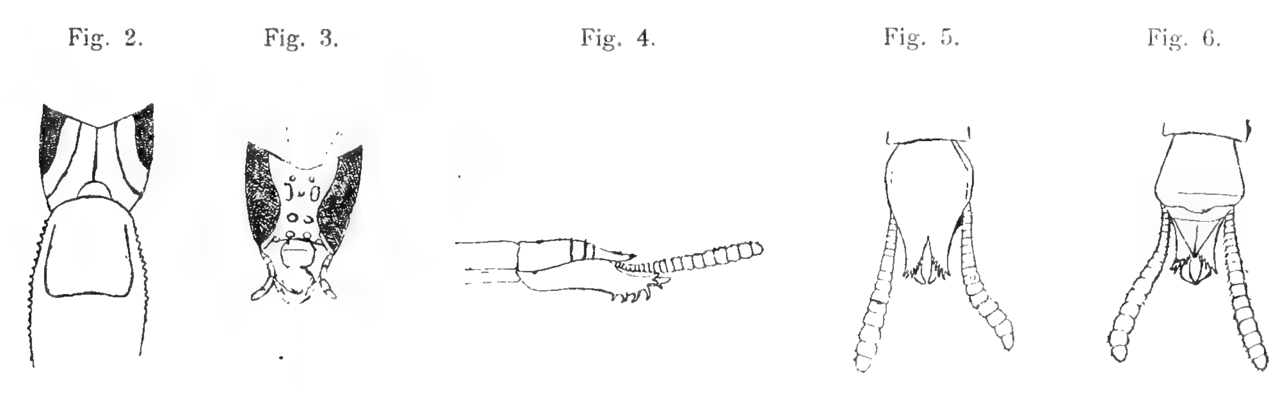
Paroxyophthalmus ornatus n. sp.

♀ vom Wege Umm Ramad-Nubbaka, 16./III. (leg. Werner).

Von *P. collaris* (Sauss.) verschieden durch die in eine deutliche Spitze endigenden Augen den tiefer ausgeschnittenen Vertex (Fig. 2), das längere und über den Coxen kaum erweiterte, an den Seiten fein gezähnelte Pronotum.

Clypeus mit 6 runden, glänzenden, gelblichen Höckern, davon 4 am Unterrand, 2 in der Mitte, mit den 2 mittleren des Unterrandes im Quadrat stehend (Fig. 3). Hinterflügel reichen bis zur Mitte des dritten

Fig. 2. Fig. 3. Fig. 4. Fig. 5. Fig. 6.



Abdominalsegmentes. Ränder der beiden Lappen der Lamina subgenitalis mit 6 starken Stacheln besetzt die vier vorderen besonders lang und nach vorn gebogen (Fig 4—6).

Hinterflügel am Basalteil rosenrot, am Rand grün, mit einem großen, metallisch blauvioletten (aber nicht einheitlichen, sondern heller gefleckten) Mittelflecken. Innere Dornen der vorderen Femora sowie ein Fleck basalwärts vom Sulcus unguicularis schwarz. Sonst Färbung einförmig steppengrasgelb.

Gesamtlänge 49·5 *mm*, Breite / Länge des Kopfes 4·5 *mm*, / 5·5 *mm*, Breite / Länge des Pronotums 3·9 *mm*, / 11·4 *mm*,

Länge der Hinterflügel 15·4, der vorderen Femora 10·0 *mm*.

Da ich *P. collaris* nur aus der Abbildung von Saussure kenne, die ein ♂ darstellt, so kann ich nicht sagen, ob es sich hier etwa um ein n. g. handelt, wie nach der bemerkenswerten Bewehrung der Lappen der Subgenitalplatte vermutet werden könnte.

Die Elytren des Originalexemplares, das ich im Steppengrase fing, sind wohl infolge einer Störung bei der letzten Häutung unentwickelt geblieben, stark verkürzt und geschrumpft.

3 Larven vom selben Fundorte unterscheiden sich von dem ♀ durch den noch tiefer ausgerandeten Vertex, die noch mehr zugespitzten, an *Episcopus* erinnernden Augen und das kürzere Pronotum. 2 dieser Larven, die ♂♂ sind, fallen durch besonders lange Cerci auf. Die Anordnung der Höcker auf dem Clypeus, die Zeichnung der Vorderfemora bei der ältesten Larve und der Umstand, daß alle drei mit dem ♀ auf einer Stelle gefunden wurden, macht es für mich zweifellos, daß sie zur selben Art gehören.

Durch den Umstand, daß die Augen bei den Larven noch mehr zugespitzt und die Ausrandung des Vertex noch stärker ist als bei der Imago, könnte man zur Vermutung gebracht werden, es sei die Gattung von *Episcopus* abzuleiten und eine sekundäre Verkürzung der Augenfortsätze über *P. ornatus* zu *collaris* eingetreten. Es würden auf diese Weise *Galepsus*-ähnliche Formen entstehen können, die von der normalen Linie kaum zu unterscheiden wären. Eine solche Form könnte *G. minutus* G. T. sein.

Paroxyophthalmus scheint bisher ein rein (ost)sudanesisches Genus zu bilden mit den beiden Arten *collaris* (Sauss.) aus Sennaar und *ornatus* aus Kordofan. Die Zugehörigkeit von *P. Savatieri* Rochebr. (Senegambien) ist noch fraglich.

Pyrgomantis singularis Gerst.

Werner, Sitzber. Akad. Wiss., Wien, Bd. CXVI, 1907, p. 229.

2 Larven vom Weg Dilling-Gulfan, 23./III. 1 Larve von Tonga, 17./IV.

Bei der großen Larve von Tonga ist eine feine laterale Zähnelung des Pronotums erkennbar. Die Färbung ist einförmig bleichgelb.

Pyrgomantis septentrionalis Wern.

Werner, l. c., p. 228.

1 Larve vom Weg Nubbaka-Sungikai, 18./III. 1 Larve von Gulfan, 24./III.

Das Abdomen ist unterseits mit dunklen Punkten versehen, meist ein Paar auf jedem Segment wie bei manchen *Tarachodes*-Arten. Oberseite der Gulfan-Larve in der Mitte bräunlich angeflogen, Kopf und Außenseite der Vorderfemora mit kleinen schwarzen Punkten.

Verhältnis der Augenlänge zur Länge des Vertexfortsatzes bei *septentrionalis* wie 1 : 1·75, bei *singularis* wie 1 : 2·72.

Calidomantis pharaonica Sauss.

Werner, Sitzber. Akad. Wiss., Wien, CXVI, 1907, p. 239.

Giglio-Tos, Mantidi Esotici, I, 1911, p. 194.

♂ Nymphe von Talodi, 3./IV.

Diese Art ist aus dem Ostsudan bisher aus Sennaar (Saussure) und vom Bor am Bahr-el-Gebel (Werner) verzeichnet worden. Das vorliegende Exemplar ließ sich nach Giglio-Tos einwandfrei als hieher gehörig bestimmen.

Calidomantis fenestrata Fabr.

Giglio-Tos, Mantidi Esotici, I, 1911, p. 185.

♀ Larve von Sennaar, 20./II.

Diese Larve stimmt am besten mit der obigen Art überein, wenngleich die Vordercoxen an der Innenseite einfarbig grün sind. Sie wäre neu für den Sudan, ist aber sonst in Nordostafrika (Abessynien, Somaliland) mehrfach gefunden worden.

Mantis religiosa L.

Werner, Sitzber. Akad. Wiss., Wien, CXVI, 1907, p. 236.
— Zool. Jahrb., Syst. XXXIV, 1913, p. 211.
Giglio-Tos, Mantidi Esotici, V, p. 12 (Boll. Soc. Ent. Ital., VLIII, 1911).

3 ♀ Nymphen vom Weg Nubbaka-Sungikai, 18./III. (siehe Bemerkung bei Tenodera herbacea). 1 ♀ Nymphe von Gebel Debri, 26./III.

Alle 4 Exemplare stimmen darin überein, daß der dunkle Coxalfleck, der bei gleichalterigen Exemplaren aus Mittel- und Südeuropa immerhin schon angedeutet ist, nur als eine schwache rötlichbraune Schwiele auftritt. (Bei dem ♀ aus Mongalla, das ich im März 1905 fing, ist ein einfarbig schwarzblauer Coxalfleck vorhanden). Die inneren Femoraldornen der Vorderbeine sind abwechselnd schwarz und hell gefärbt.

Tenodera herbacea Serv.

Werner, Sitzber. Akad. Wiss., Wien, Bd. CXVI, 1907, p. 235.
Giglio-Tos, Mantidi Esotici, V, p. 52.

2 ♀ vom Wege Nubbaka-Sungikai, 18./III. }
♀ von Talodi, 2./IV. } (leg. Werner).

Von dem von mir seinerzeit bei Khor Attar gesammelten ♂ unterscheiden sich diese ♀ ♀ durch den breiteren Kopf (der aber auch nur etwa ebenso breit wie lang ist) und das am Seitenrande stark gezähnelte Pronotum (das vor der supracoxalen Querfurche bei dem großen, 78 *mm* langen Exemplare von Nubb.-Sung. stark, bei dem kleineren fast gar nicht granuliert erscheint, während das von Talodi die Mitte hält).

Giglio-Tos gibt an, daß der Costalrand der Elytren gezähnelt sein soll. Das ist bei keinem der vorliegenden Exemplare der Fall und es ist dieser Charakter ein sehr trügerischer, wie ich bei *Sphodromantis* und *Hierodula* (wo er das Merkmal zur Aufstellung der Untergattung *Parhierodula*, deren Elytren gleichfalls gezähnelt sein sollen, benützt) feststellen konnte.

Alle 3 Exemplare haben die Färbung des dürren Steppengrases. Der Fundort der erstgenannten beiden Exemplare war eine etwa 50 m^2 große, mit hohem Grase bewachsene Stelle in der Savanne nahe der Karawanenstraße, die an Heuschrecken ungemein reich war und wo es namentlich von der typischen Steppengrasheuschrecke *Mesops* wimmelte. Die ganze übrige Gegend, die eines solchen Graswuchses völlig entbehrte, lieferte keine Mantodeen und fast keine Acridier.

Ich trage noch nach, daß die Exemplare von *Tenodera superstitiosa,* die ich im März 1905 bei Mongalla fing, der Var. *bokiana* G. T. angehören; sie haben aber nicht nur einen, sondern zwei schwarze Flecken an der Innenfläche der Vorderfemora, die voneinander und von den Enden des Femur ziemlich gleichweit entfernt sind.

Sphodromantis viridis Forsk. (guttata Thunbg.)

Werner, Sitzber. Akad. Wiss., Wien, CXVI, 1906, p. 235 (bioculata).

Giglio-Tos, Mantidi Esotici, V, p. 144.

♀ von Sennaar, 25./II. ♀ ebendaher, aus Larve gezogen, entwickelt 14./III., aber Flugorgane deformiert. ♀ Nymphe aus Bara, 5./III.

Bei Sennaar war diese Art auf dem Oscherstrauch (*Calotropis procera*) auf einer sonst wüstenartig kahlen Uferstrecke gegenüber der Stadt nicht eben selten und gehörte wie der Acridier *Poecilocerus hieroglyphicus* und eine Trypetide (*Leptoxyda longistyla* Wiedem.) zu den regelmäßigen Gästen dieser Pflanze. Das große dreieckige, lebhaft gelbweiße Stigma der Elytren ist bei dem einen im Imagozustande gefundenen ♀ sehr auffällig.

Außer bei Sennaar wurde diese Mantide nur einmal, bei Bara, angetroffen. Sie fehlt also dem mittleren und südlichen Kordofan höchstwahrscheinlich. Im Osten der Provinz wurde sie von Marno am Gebel Araschkol gesammelt (Werner, p. 236). Aus dem Gebiete des Blauen Nils ist sie mir auch von Capt. Flower mitgebracht worden.

Ischnomantis attarensis Wern.

Werner, Sitzber. Akad. Wiss., Wien, CXVI, 1907, p. 240, Taf. I, Fig. 2.

— Berl. Ent. Zeitschr., LVII, 1912, p. 17.

♂ Nymphe von Talodi, 2./IV, ♂ (?) Larve ebendaher, 3./IV.

Ersteres Exemplar wurde lebend bis Wien gebracht, lebte hier noch einige Zeit, ging aber bei der vorletzten Häutung zugrunde.

Dimensionen: Gesamtlänge (inkl. Lamina supraanalis) 79, Pronotum 22, vordere Femora 16 *mm*. Vordercoxen am Innenrande mit 8 Dornen.

Färbung oberseits graugelblich, Abdomen mit wenig dunkleren Längslinien. Prosternum und Vorderbeine fleischfarben, mit den typischen Zeichnungen. Abdomen unterseits hellgelbbraun mit wenig dunkleren Längslinien und unregelmäßig angeordneten dunklen Punkten. Die Anlagen der Flugorgane sind dunkelrotbraun mit weißem Costalrand. Bei der kleinen Larve sind die Zeichnungen kaum merkbar, Supraanalplatte unterseits dunkel getüpfelt.

Diese Art ist auch in Erythraea zu Hause (Asmara). Imagines sind mir nicht bekannt.

Solygia sulcatifrons Serv.

Werner, Sitzber. Akad. Wiss., Wien, CXVI, 1907, p. 241, Taf. I, Fig. 1, 1*a*.

♀ Larve vom Weg Nubbaka-Sungikai, 18./III. ♀ Larve von Gebel Debri, 26./III. ♀ Larve von Kadugli, 28./III. ♂ und ♀ Nymphe von Gebel Semma bei Kadugli, 29./III.

Diese stattliche Mantide lebt im Grase bis zum Gipfel des Gebel Semma, wo außer ihr von Mantiden nur noch *Hoplocorypha galeata* und *Oxythespis senegalensis* vorkommt. Die 3 von dort stammenden Exemplare sind von den übrigen einfarbig hell lederbraunen verschieden durch die hellgelbe Grundfärbung und durch Längsreihen rotbrauner Punkte auf der Metazone des Pronotums (nur bei einem ♂ deutlich, eine laterale Reihe jederseits und eine mediane, in der Prozone zusammenhängende Linien bildend) und auf dem Abdomen (die beiden Mittelreihen am dunkelsten). Auch die Unterseite des Abdomens weist dunkle Punktreihen auf und bei den vorerwähnten ♂ ist auch das Prosternum schwarz getüpfelt.

Die Anlagen der Flugorgane haben ein weißes Costalfeld, das einwärts zu schwarzbraun gerandet ist; das Analfeld ist hellgelbbraun; diese Zeichnungen sind bei der ♀ Nymphe viel blässer.

Dimensionen der oberwähnten Exemplare:

	♂	♂	♀	♀	♀	♀
	Gebel Semma			Kadugli	G. Debri	Nubbaka-Sungikai
Totallänge	78	82	102	90	91	90
Pronotum	22·5	24·6	32	26·7	27·8	26
Vordere Femora . . .	15·5	15·8	20·5	17·6	18·5	17·5

Carvilia agrionina Gerst.

Gerstäcker, Arch. Naturg., XXXV, 1869, p. 209.
— in V. d. Decken, Reisen O.-Afrika, Ins. (1873), p. 13.

♂ aus Tonga, 14. IV.

Diese Art ist neu für den angloägyptischen Sudan. Nach Vergleich mit Exemplaren aus Abessynien und Deutsch-Ostafrika muß ich alle derselben Art zurechnen, da die vorhandenen geringfügigen Unterschiede zu einer artlichen Trennung nicht ausreichen.

Ob *Parasphendale minor* Schulth. (Ann. Mus. Genov, XXXIX, 1898, p. 177) vom Somaliland eine besondere Art vorstellt, wage ich nicht zu bestreiten, obgleich mir die angegebenen Merkmale nicht überzeugend scheinen; von einer von *Carvilia* verschiedenen Gattung kann aber nicht die Rede sein und Kirby hat sie auch in seinem Syn. Cat. Orth., I, 1904, p. 267) zu der Stål'schen Gattung gestellt. Die südlicheren Exemplare (Deutsch-Ostafrika) unterscheiden sich von den nördlichen (Tonga Diré-Daua, Abessynien) durch fast glashelle Elytren mit zwei schwarzbraunen Querbinden in der Basalhälftej jene haben rötlichbraune Elytren und das stets gelblichweiße Costalfeld ist durch einen dunkelbraunen Streifen abgegrenzt. Die Querbindenzeichnung des Clypeus und der Gliedmassen (auch auf der Innenseite der Vordercoxen), die Färbung der Dornen an den Vorderbeinen ist überall ganz gleich. Was aber die Unterschiede von *Parasphendale minor* anbelangt, so beschränken sie sich auf folgende: Der Metatarsus ist etwas länger als die vier übrigen Tarsenglieder zusammen. (Das Pronotum ist ebensowenig bei *agrionina* wie bei *minor* gekielt). Die Palpen sind einfarbig dunkel anstatt dunkel geringelt. Das Pronotum ist vor der Erweiterung seitlich nicht gezähnelt; nicht nur die Femora, sondern auch die Tibien der Mittel- und Hinterbeine können dunkel gebändert sein (bei dem Tonga-Exemplare sind die Coxen und die Femora der Mittel- und Hinterbeine einfarbig dunkelrotbraun, mit Ausnahme des gelblichen Apex).

Dimensionen:

	Tonga-Ex.	Diré-Daua-Ex.	Dar-es-Salaam-Ex.	C. minor. (nach Schulthess)
Gesamtlänge	34·6	37·3	41·4	32·0
Pronotum	10·4	10·8	12·8	11·0
Elytren	29·8	29·6	29·4	25·0

Die Aufstellung eines *C. costalis* durch Kirby als besondere Art ist meines Erachtens nicht angängig. Man kann diese Form höchstens als Farbenvarietät betrachten.

Hoplocorypha galeata Gerst.

Werner, Sitzber. Akad. Wiss., Wien, Bd. CXVI, 1907, p. 239.
— Berl. Ent. Zeitschr., LVII, 1912, p. 16.

♂ Nymphe von Sennaar, 21./II. ♀ und ♂ Nymphen von El Obeid-Bara, 4./5./III. ♂ Nymphe und ♀ von Umm Ramad-Nubbaka, 16./III. ♂ Nymphen und ♀ ♀ von Gebel Gulfan, 24./III. ♂ Larve von Keiga Tummero-Kadugli, 27./III. ♂ ♀ von Kadugli, 28./III. ♂ von Gebel Semma, 29./III. ♀ von Gebel Lebu, 31./III. ♀ von Kororak, 1./IV. ♀ von Talodi, 2./IV. ♀ von Bir Joghan, 8./IV. ♀ von Tonga, 14., 17./IV.

Wie aus der Zahl der Fundorte ersichtlich, ist dieses wohl die häufigste und verbreitetste der äthiopischen Mantodeen im Sudan und sie reicht sogar in das paläarktische Gebiet hinein. In morphologischer Beziehung sehr konstant, variiert sie nicht unbeträchtlich in der Färbung, die gelb-, rot- oder graubraun ist, einfarbig oder mit einer dunklen Medianlinie des Abdomens (Gulfan) oder mit unregelmäßiger schwarzer Fleckenzeichnung (Umm Ramad-Nubbaka).

Länge: ♂ 37 bis 39, ♀ 45 bis 50 *mm.*

Nach eingehender Untersuchung des ganzen mir zur Verfügung stehenden Materials komme ich zu dem Schlusse, daß die neuerdings von Sjöstedt (in Sjöstedt's Kilimandjaro- und Meru-Expedition, XVII, 3, p. 61, 1909) hervorgehobene Verschiedenheit von *H. macra* Stål von *galeata* Gerst. nicht aufrecht zu erhalten ist und alle denkbaren Übergänge zwischen beiden extremen Formen der Lamina subgenitalis und supraanalis des ♂ vorkommen (Taf. 4, Fig. 10 und 11). Gerade die vorliegenden Exemplare sind ziemlich genau intermediär.

Harpagomantidae.

Oxypila (?) annulata Serv.

Werner, Sitzber. Akad. Wiss., Wien, Bd. CXVI, 1907, p. 243.
♂ Larve von Sungikai, 19./III. (leg Werner).
Zahlreiche Larven aus einem Kokon von Nubbaka ausgeschlüpft, 24./III.

Die Larven sind einfarbig weißlich, der Vertexfortsatz ist am Ende gegabelt, aber ohne seitliche Zacken, das Pronotum glatt. Es könnte sein, daß eine neue Art vorliegt, wahrscheinlich handelt es sich aber um einen Jugendzustand. Die Larve von Sungikai wurde in der Steppe auf dem Boden laufend angetroffen.

Pseudoharpax virescens (Serv.).

Werner, Sitzber. Akad. Wiss., Wien, Bd. CXVI, 1907, p. 245.
♂ Larve von Talodi, 3./IV.

Ganz grün. Der Fundort innerhalb des ungeheuren Khors von Talodi (Khor Keilak) weist darauf hin, daß diese Art wie auch sonst im Sudan auch hier eine Sumpfbewohnerin ist.

Vatidae.

Danuria impannosa Karsch.

Karsch, Ent. Nachr., XV, 1889, p. 273, 274.
Werner, Sitzber. Akad. Wiss., Wien, CXVI, 1907, p. 245.
— — und Zool. Jahrb., Syst. XXXIV, 1913, p. 211.
— — und Verh. Zool. bot. Ges., Wien, LXVI, 1916, p. 289, Fig. 92.

♂ von Talodi, 2. IV. (leg. Werner — als Larve gefangen, in Wien verwandelt). 2 ♀ Nymphen vom Weg Dilling-Gulfan, 23./III.

Es war bisher erst ein ♂ dieser Art bekannt, das ich im Zool. Jahrb. für den Bahr-el-Ghasal verzeichnete. Das vorliegende ♂ ist wohl die erste *Danuria*, die lebend nach Europa gekommen ist. Es ist nur 85 *mm* lang (das vom Gazellenfluß 100 *mm*), Elytren dunkelrotbraun, an der Basis heller, Costalfeld gelbbraun; Hinterflügel dunkelgraubraun, Queradern im Analfächer weiß gesäumt. Sonst strohfarben, Knie der Mittel- und Hinterbeine sowie Genitalgegend schwärzlich.

Pronotum 23·8, Elytren 43, vordere Femora 17·3 *mm*.

Die größere der beiden Nymphen ist 87 *mm* lang; Pronotum 26·2, vordere Femora 18·7 *mm* Färbung gelbbraun.

Der Originalfundort der Art (Gebel Fung) dürfte mit den in der sogenannten »Gesirch«, dem Landstrich zwischen dem Weißen und Blauen Nil gelegenen Dar Fungi identisch sein.

Danuria (?) serratodentata Karsch.

Karsch, Ent. Nachr., XV, 1889, p. 274.

Werner, Verh. Zool. bot. Ges., Wien, LXVI, 1916, p. 289, Fig. 9*d, i, k*.

♂ Nymphe vom Gebel Debri, 26. III.

Diese Bestimmung ist unsicher, es könnte sich auch um eine neue Art handeln. Gegen *Danuria bolauana* spricht das Vorhandensein von Vertexhöckern, deren Fehlen für diese Art sehr charakteristisch ist; gegen *Thunbergi* das Fehlen jeder Spur von dunklen Hinterrandsäumen der Abdominaltergite, die deutliche Zähnelung des Lappens am Apex der Mittelfemora und das Vorhandensein einer lamellären Erweiterung an jeder Seite der Basalhälfte der Mitteltibien. Es käme also nur mehr *serratodentata* in Betracht und mit einem ♂ meiner Sammlung stimmt die Larve auch relativ noch am besten überein, wenn auch der äußere Genicularlappen der Mittelfemora erheblich länger und der Hinterrand derselben in den basalen zwei Dritteln lamellär erweitert ist. Freilich ist *D. serratodentata* bisher noch nicht nördlich von Deutsch-Ostafrika gefunden worden; dasselbe ist aber auch bis vor relativ kurzer Zeit mit den übrigen zum Vergleich herangezogenen Arten der Fall gewesen.

Calamothespis adusta Wern.

Werner, Sitzber. Akad. Wiss., Wien, CXVI, 1907, p. 237, Taf. I, Fig. 3.

♂ Larve, Weg Dilling-Gulfan, 23. III.

Diese kleine (23 *mm* lange) Larve unterscheidet sich von der Type durch die eintönig fahlgelbe Färbung. Das Abdomen läßt wie der Thorax einen dorsalen Mediankiel unterscheiden, seitlich davon aber je ein Paar von stumpfen Längsleisten, etwa wie bei *Hoplocorypha*. Die gekielten Femora und Tibien der Mittel- und Hinterbeine lassen die dieser Gattung früher gegebene Unterbringung bei den Mantiden untunlich erscheinen, dagegen ihre Einreihung bei den Vatiden, denen sie auch durch die platten Cerci nahesteht, als richtig betrachten. Die kurzen Mittel- und Hinterbeine, die wir auch noch bei der Vatidengattung *Toxoderopsis* finden, deuten demnach nicht auf Konvergenz, sondern auf nähere Verwandtschaft mit dieser indischen Gattung hin.

Oxythespis senegalensis Sauss.

Werner, Sitzber. Akad. Wiss., Wien, Bd. CXVI, 1907, p. 237, Taf. I, Fig. 6, 6*a*.

♂ vom Weg Umm Ramad-Nubbaka, 16. III. ♂ vom Gebel Semma bei Kadugli, 29. III. ♀ vom Weg Nubbaka-Sungikai' 18. III. ♀ von Kadugli, 28. III. Larven vom Weg El Obeid, Bara, 4. III., von Talodi, 2. IV. und vom Wege Umm Ramad Nubbaka-Sungikai.

Diese kleine zierliche Art geht in Kordofan über die Grenze der äthiopischen Region hinaus, wenn auch nicht so weit wie im Westen ihres Verbreitungsgebietes, wo sie ja Tunesien erreicht. Sie gehört neben *Hoplocorypha* zu den häufigere Mantiden des dürren Steppengrases. Eigentlich scheint *Oxythespis* eher eine paläarktische Gattung zu sein, da von den 6 Arten keine einzige rein äthiopisch ist dagegen eine (*maroccana* Bol.) in Marokko, eine (*senegalensis*) in Tunis, eine (*granulata*) in Tripolis, eine (*lemoroi*) in Algerien, eine (*turcomaniae*) in Turkestan und eine (*persica* Bol.) in Persien vorkommt, während nur *senegalensis* und *granulata* auch im Sudan zu Hause sind.

Empusidae.

Blepharodes sudanensis Wern.

Werner, Sitzber. Akad. Wiss., Wien, CXVI, 1907, p. 248.

♂ Nymphe von Sennaar, 27./II. (leg. Werner).

Diese Art habe ich nach einem der Exemplare der zoologischen Sammlung des Gordon Memorial College in Khartoum beschrieben.

Diese ermangelten einer genaueren Fundortsangabe. Durch die Auffindung des obigen Exemplares in der Grassteppe gegenüber von Sennaar ist nun das Vorkommen für das Gebiet des Blauen Nils sichergestellt. Da ich es mit der Type, die sich jetzt in meiner Sammlung befindet, vergleichen konnte, war die völlige Identität in allen wesentlichen Punkten festzustellen. Abweichend war nur (zweifellos Larvencharakter): die breit dreieckigen (nicht scharf zugespitzten) Fortsätze des Vertexhornes.

Nachtragen möchte ich noch folgende Einzelheiten: Clypeus etwa gleichseitig dreieckig, mit konvexen Seiten und starkem Mittelkiel. Auch der Vertex hat unterseits einen starken Mittelkiel und außerdem jederseits einen schwächeren Lateralkiel. Seitendornen des Pronotums etwa 12 (Type) oder 16 (Nymphe); auch die wenigen kleineren Dornen sind mitgezählt; die Dornen gehen fast bis zum Hinterrande, sind bei der Type aber an dem parallelrandigen Hinterabschnitt kleiner als bei dieser. Vordercoxen am Vorderrande mit 6 größeren Dornen, dazwischen meist je ein kleinerer; am Hinterrande mit 4 großen und mehreren kleinen; bei der Nymphe 8 größere Dornen am Vorderrande, die basalen stärker, mehr genähert, die apikalen kleiner, entfernter, durch kleinere getrennt; 6 größere und mehrere kleinere Dornen am Hinterrand. Äußere Femoraldornen 5, innere 16, der 2. und 4. am längsten, alle schwarzspitzig; 3. Discoidaldorn sehr lang; äußere Tibialdornen 10, innere 15; Metatarsus länger als die übrigen Tarsenglieder zusammen; bei der Nymphe sind 15 innere Femoral- und 11 äußere Tibialdornen vorhanden. Vorderrand der Vordertibien fein gezähnelt; Außenkante der Vorderkoxen granuliert; Hinterecken der hinteren Abdominalsegmente stachelartig ausgezogen. Supraanalplatte dreieckig, breiter als lang, median gekielt; hintere (3. bis 7.) Abdominaltergite in der Mitte dreieckig, vorspringend, gekielt, zum Teil in der Mitte eingekerbt (4., 5.); Subgenitalplatte trapezförmig, groß; Styli kurz, zugespitzt, einwärts gebogen.

Die Färbung der Nymphe ist oberseits einfarbig grün; die dunkle Färbung der Basalhälfte und das dunkle Querband vor dem Apex der Vordercoxa, sowie der dunkle Mittelfleck des vorderen Femur (alles innerseits) deutlich vorhanden — Das Exemplar wurde längere Zeit lebend gehalten, ging aber noch vor der Verwandlung ein.

Länge des Kopfes mit Vertexfortsatz 10, Länge des Pronotums 13, der vorderen Femora 12 *mm*.

Gesamtlänge (mit dem Vertexfortsatz) 47 *mm*.

Idolomorpha dentifrons Sauss.

Saussure, in Grandidier Hist. Madagascar, Orthoptères, Pt. I, p. 244.
Werner, Sitzber. Akad. Wiss., Wien, CXVI, 1907, p. 247.
— Verh. Zool. bot. Ges., Wien, LXVI, 1916, p. 295, Fig. 11*a*.

♂ Larve vom Wege Keiga Tummero-Kadugli, 27. III.

Nach eingehendem Vergleiche mit dem mir zur Verfügung stehenden Vergleichsmaterial möchte ich dieses Exemplar ebenso wie die im Jahre 1905 gesammelten Larven von Khor Attar, Morgalla und Gondokoro der obigen Art zurechnen. Ich stütze mich dabei auf die völlig übereinstimmende Färbung der Innenseite der Vordercoxen (basale Hälfte bräunlichweiß, dicht weiß getüpfelt; apikale Hälfte gegen den Trochantes immer dunkler werdend, bis schwarz, beiderseits weiß gesäumt; auch der dreieckige Endlappen der Coxa schwarz, hinten weiß gesäumt; ein größerer weißer elliptischer Fleck im Schwarzen, nahe der Mitte; Trochantes weiß, außen braun gesäumt) und den Besitz des dreieckigen Coxallappens. Die größte Breite der vorderen Femora liegt nicht in der Mitte, sondern etwas näher dem Apex.

Der Stirnstachel ist noch sehr wenig nach vorn geneigt. Diese Merkmale kommen alle auch der *spinifrons*-Gruppe zu, bei der aber der Stirnstachel schon stärker gebogen ist.

Verhältnis der Länge zur größten Breite der vorderen Femur bei

♀ Larve von Khor Attar	9•0 : 1•6 = 5•6 : 1
♂ » » Kadugli (siehe oben)	9•4 : 1•5 = 6•2 : 1
♀ von Ibo, Mozambique	17•6 : 2•4 = 7•3 : 1
♂ » Tamatave, Madagascar	14•8 : 1•6 = 9•3 : 1

Idolomorpha defoliata Serv.

Serville, Hist. Nat. Ins. Orthopt. 1839, sp. 147.
Werner, Verh. Zool. bot. Ges., LXXI, 1916, p. 295.

♀ Nymphe von Nubbaka, 17. III.

Bei der höchst ungenügenden Beschreibung der so schwierig zu unterscheidenden Arten dieser Gattung durch die älteren Autoren ist die obige Bestimmung nur als eine provisorische zu betrachten. Tatsächlich steht nur fest, daß erstens dieses Exemplar von dem vorigen sicher verschieden ist und daß es mit der Serville'schen Beschreibung am besten übereinstimmt. Auffällig sind der kleine Kopf mit mehr als bei *dentifrons* vorstehenden Augen, der längere Vertexfortsatz (bei der *dentifrons*-Larve 1·56 mal, bei der *defoliata*-Nymphe 2·74 mal so lang wie der Kopf), die schlanken vorderen Coxen und Femora (diese kaum erweitert, Länge zu größter Breite wie 10 : 1) und die Färbung der Innenseite der Vordercoxen: basale Hälfte einfarbig grün, apikale einfarbig schwarz. Außenseite der vorderen Femora mit einigen gelben Punkten. Pronotum länger als bei der *dentifrons*-Larve.

Die Auffindung einer *Idolomorpha*-Art, die zweifellos einer westafrikanischen Formengruppe der Gattung angehört, ist ein neuer Beweis für die Gleichartigkeit der Fauna des ganzen Sudan vom Atlantischen Ozean bis zum Nil.

Mantodeen-Cocons.

Die Identifizierung von (wie dies weitaus am häufigsten der Fall ist) abgestorbenen oder leeren Cocons stößt meist auf fast unüberwindliche Schwierigkeiten. Von den gesammelten Cocons ergaben nur 2 junge Larven; die übrigen können nur provisorisch oder gar nicht bestimmt werden.

Die merkwürdigsten unter ihnen sind die kurzen, fast durchsichtigen Cocons, von denen ich einen (Sitzber. Akad. Wiss., Wien, CXVI 1907, Taf. II, Fig. 8) abgebildet habe. Es sind jedenfalls 2 Arten derselben Gattung. Die abgebildete Art aus Mongalla und Gondokoro am Bahr-el-Gebel ist kleiner (12 bis 13 *mm* Länge der Raphe, 5 *mm* Querdurchmesser; eine zweite Art haben wir vom Gebel Gulfan im Nubaland mitgebracht, diese mißt bei 20 *mm* Länge der Raphe 13 *mm* im Querdurchmesser. Diese Cocons sind stets mit Hilfe eines erhärteten Sekretstranges, der um dünne Ästchen gewickelt ist, an diesen befestigt. Derselben Gattung gehören zweifellos die von R. Shelford in Transact. Ent. Soc. 1909, p. 509, Taf. XVII ausführlich beschriebenen und auch abgebildeten Cocons von Delagoa-Bay an (»Two remarkable forms of Mantid oothecae«). Diese Cocons variieren in der Größe von 30 × 15 zu 14 × 12 *mm*. Es ist möglich, daß es sich auch hier um zwei verschiedene Arten handelt. Jedenfalls ist es gegenwärtig unmöglich zu sagen, zu welcher Gattung alle diese Cocons gehören. Durch die glatte Oberfläche dieser Cocons, wie sie für die Blattodeen die Regel ist, wird man auf die Vermutung gebracht, es handle sich um Formen, die diesen relativ nahe stehen.

Bedeutend leichter war die Identifizierung von Cocons aus Dilling und Gulfan, die so sehr mit dem von Krauss im Zool. Jahrb., Syst. IX, 1897, Taf. 7, Fig. 2, abgebildeten Cocon von *Empusa egena* übereinstimmen, daß es sich nur um eine mit *Empusa* nahe verwandte Gattung handeln kann also jedenfalls um *Idolomorpha,* die von uns ja im Nubalande gefunden wurde. Aber auch aus Bara liegt ein solcher Cocon vor, neben kleineren, die auf eine andere, kleinere Empuside (*Blepharodes cornutus?*) zu beziehen sein dürften.

Ein kleiner Cocon (10 *mm* lang, 5 breit, 6 hoch) entspricht vollkommen dem *Empusa*-Typus; die vertikalen Seitenlamellen stehen flügelartig in einem Winkel von etwa 60° nach hinten vor und sind am freien Rande in etwa 8 ziemlich lange, weiche Spitzen ausgezogen. Dieser Cocon ergab am 24./III Larven von *Oxypila*, vermutlich *annulata.* Die große Ähnlichkeit der Cocons von Mantodeen zweier verschiedener, aber durch mancherlei Eigentümlichkeiten (Vertexfortsätze, Lappen an den Gliedmassen) sehr übereinstimmender Familien ist für die Deutung der Verwandtschaftsbeziehungen beider sehr von Belang.

Eine große Anzahl von Cocons erwies sich schon nach der bedeutenden Größe und der Gestalt als zur *Sphodromantis*-Gruppe gehörig, wie sich auch durch Vergleich mit Cocons von *S. guttata* aus Ägypten ergab. Aus einem Cocon von Tanguru schlüpften am 7./IV. zahlreiche Larven aus, die diese Bestimmung bestätigten, da sie nach der Form des Pronotums und der Breite des Abdomens zu keiner anderen Mantidengattung gehören können. Es ist höchst wahrscheinlich, daß diese Larven mit *S. lineola* Gerst. identisch sind, da in dieser geographischen Breite *S. viridis* (*guttata*) nicht mehr vorkommen dürfte (deren Südgrenze im Sudan durch eine Linie von Sennaar über den Gebel Araschkol bis Bara gebildet zu werden scheint). Ein äußerlicher Unterschied zwischen dem Tanguru-Cocon und sicheren Cocons von *S. viridis* aus Ägypten ist nicht wahrzunehmen. Dagegen lassen die zu *Sphodromantis* zu rechnenden Cocons aus dem Sudan zwei Haupttypen der Oberflächenstruktur erkennen, nämlich:

1. Wellig-schuppige Struktur: (Typisch für *Mantis religiosa, S. viridis;* anscheinend auch bei *S. lineola*). Cocons aus Nubbaka-Sungikai, Dilling, Gulfan, Talodi, Lebu, Tanguru; sichere *viridis* aus: El Obeid-Bara, Sennaar; Länge 20 bis 42 *mm*. Gestalt tonnenförmig (Länge zu Breite wie 4 : 2·2 bis 3), seltener nahezu kugelig (Durchmesser 25 *mm*).

2. Oberfläche dicht weißfilzig, ohne Spur von wellig-schuppiger Struktur oder konzentrischer Streifung: 2 Cocons aus Nubbaka-Sungikai (Länge 33, Breite 14, Höhe 13 *mm*). Diese schlankeren Cocons dürften weder der Gattung *Mantis* noch *Sphodromantis* angehören.

Von den Cocons der 1. Gruppe dürften einige aus Sennaar, Dilling, Gulfan, Tanguru zu *Mantis religiosa* gehören.

Ein kleiner, der Unterseite eines großen Blattes mit breiter Fläche aufruhender Cocon aus Nubbaka gehört wohl höchstwahrscheinlich zu einer Mantide; da aber die aus Nubbaka vorliegenden Mantiden durchwegs Grasbewohner sind, so ist es wahrscheinlich, daß es sich um eine von uns daselbst nicht gefundene Art handelt. Er ist 15 *mm* lang, 10 breit und 8 hoch; an den ziemlich steil abfallenden Seiten regelmäßig vertikal gerieft.

Cocons von *Miomantis* (*Calidomantis*) wie sie in der sehr guten Arbeit von E. W. Adair (Notes Préliminaires pour servir à l'ètude des Mantides, Bull. Soc. Entomol. Egypte, Le Caire 1914, p. 21 bis 36, Taf., Fig. 3, 16) abgebildet sind, wurden nicht gefunden.

Zusammenstellung der gesammelten Kordofan-Mantodeen nach den Fundorten.[1]

Bara (13° 45′ n. Br.) *Elaea*: *Marchali, Sphodromantis viridis.*

Bara-El Obeid (13° 15′ n. Br.): *Hoplocorypha galeata, Oxythespis senegalensis.*

Umm Ramad-Nubbaka: *Paroxyophthalmus ornatus, Hoplocorypha galeata, Oxythespis senegalensis.*

Nubbaka: *Oxypila annulata, Idolomorpha defoliata.*

Nubbaka-Sungikai: *Pyrgomantis septentrionalis, Mantis religiosa, Tenodera herbacea, Solygia sulcatifrons, Oxythespis senegalensis.*

Sungikai: *Oxypila annulata.*

Dilling (12° n. Br.).

Dilling-Gulfan: *Galepsus capitatus, Pyrgomantis singularis, Danuria impannosa, Calamothespis adusta*

Gulfan: *Compsothespis Ebneri, Pyrgomantis septentrionalis, Hoplocorypha galeata.*

Debri: *Mantis religiosa, Solygia sulcatifrons, Danuria serratodentata.*

Keiga Tummero-Kadugli: *Tarachodes dives, Hoplocorypha galeata, Idolomorpha dentifrons.*

Kadugli (11° n. Br.): *Solygia sulcatifrons, Hoplocorypha galeata, Oxythespsis senegalensis.*

Homra: *Tarachodes dives.*

Lebu: *Hoplocorypha galeata.*

Kororak: *Hoplocorypha galeata.*

Talodi (10° 40′ n. Br.): *Elaea Marchali, Calidomantis pharaonica, Tenodera herbacea, Ischnomantis attarensis, Hoplocorypha galeata, Pseudoharpax virescens, Danuria impannosa, Oxythespis senegalensis.*

Bir Joghan: *Elaea Marchali, Hoplocorypha galeata.*

Tonga (9° 30′ n. Br.): *Pyrgomantis singularis, Carvilia agrionina, Hoplocorypha galeata.*

Das * bedeutet, daß es sich um nicht von mir selbst gesammelte Exemplare handelt. Eingeklammert sind einige in der Literatur angegebene Fundangaben für den Weißen Nil, die tiergeographisch noch zur Provinz Khartoum gehören.

	Dongola	Rot. Meer-Prov.	Khartoum	Nord-Kordofan	Süd-Kordofan	Nuba-Berg-Prov.	Gazellen-Fluß-Prov.	Weiß. Nil (Bahr-el-Abiad)	Ob. Nil (Bahr-el-Gebel)	Blauer Nil (Bahr-el-Asrak)	Sobat.
Amorphoscelidae.											
1. *Paramorphoscelis gondokorensis* Wern									1		
2. *Compsothespis Ebneri* Wern.						1					
Orthoderidae.											
3. *Centromantis Hedenborgi* Stål			1*					(1*)		1*	
4. *Eremiaphila cordofana* Wern.				1							
5. — *Wettsteini* Wern.		1									
6. *Tarachina rhaphidioides* Wern.									1		
7. *Tarachodes obtusiceps* Stål	1*	1*					1*	1		1*	
8. — *gilva* Charp.	1*									1*	
9. — *dives* Sauss.						1				1*	
10. — *maura* Stål							1*				
11. *Galepsus capitatus* Sauss.						1			1*	1, 1*	
12. — *lenticularis* Sauss.							1*			1*	
13. *Paroxyophthalmus collaris* Sauss.										1*	
14. — *ornatus* Wern.					1						
15. *Pyrgomantis septentrionalis* Wern.					1	1	1*		1		
16. — *singularis* Gerst.						1		1	1		
17. — *mabuia* Wern.									1		
18. *Elaea marchali* R. u. F.		1		1		1		1	1		
Mantidae.											
19. *Nilomantis Floweri* Wern.										1*	
20. *Calidomantis Savignyi* Sauss.							1*			1*	
21. — *pharaonica* Sauss.						1			1	1*	
22. — *annulipes* Wern.									1		
23. — *fenestrata* Fabr.										1	
24. *Mantis religiosa* L.					1	1		1	1		
25. *Tenodera herbacea* Serv.					1	1		1			
26. — *superstitiosa* Fabr.									1		
27. *Sphodromantis bioculata* Burm.			1	1, 1*				1		1	
28. — *lineola* Gerst.							1*	1	1*		
29. *Hoplocorypha galeata* Gerst.				1	1	1		1	1	1	
30. *Ischnomantis attarensis* Wern.						1		1			
31. — *gigas* Sauss.										1*	
32. *Solygia sulcatifrons* Serv.					1	1		1			1
33. — *grandis* Sauss.							1*				
34. *Leptocola giraffa* Karsch.										1*	
35. *Carvilia agrionina* Gerst.								1			
36. *Eremoplana Guérini* Stål	1*										

	Dongola	Rot. Meer-Prov.	Khartoum	Nord-Kordofan	Süd-Kordofan	Nuba-Berg-Prov.	Gazellen-Fluß-Prov.	Weiß. Nil (Bahr-el-Abiad)	Ob. Nil (Bahr-el-Gebel)	Blauer Nil (Bahr-el-Asrak)	Sobat
Harpagidae.											
37. *Oxypila annulata* Serv.					1				1		
38. *Pseudoharpax virescens* Serv.						1		1	1		
Vatidae.											
39. *Stenovates pantherina* Sauss.	1*							1*		1*	
40. *Heterochaeta orientalis* Kirby											1*
41. *Popa spurca* Stål									1		
42. *Danuria impannosa* Karsch.						1	1*			1*	
43. — *Schweinfurthi* Wern.							1*				
44. — *Bolauana* Sauss.									1		
45. — *serratodentata* Karsch.						1					
46. *Oxythespis senegalensis* Sauss.				1	1	1		1	1		
47. *Calamothespis adusta* Wern.						1			1		
Empusidae.											
48. *Empusa Hedenborgi* Stål.								(1*)			
49. — *Stolli* Sauss.	1*										
50. *Idolomorpha dentifrons* Sauss.						1		1	1		
51. — *defoliata* Serv.					1						
52. *Blepharopsis mendica* Fabr.								(1*)			
53. *Blepharodes cornutus* Schulth.										1*	
54. — *sudanensis* Wern.										1	
55. *Idolum diabolicum* Sauss.								1*	1*	1*	

EINE PLASMOLYTISCH-VOLUMETRISCHE METHODE ZUR BESTIMMUNG DES OSMOTISCHEN WERTES VON PFLANZENZELLEN

VON

KARL HÖFLER

AUS DEM PFLANZENPHYSIOLOGISCHEN INSTITUT DER K. K. UNIVERSITÄT IN WIEN,
Nr. 106 DER ZWEITEN FOLGE

MIT 2 TAFELN UND 5 TEXTFIGUREN

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 12. JULI 1917

I. Allgemeiner Teil.

§ 1. Das Grundprinzip.

Die im folgenden beschriebene Methode setzt sich zum unmittelbaren Ziel, den osmotischen Wert lebender Pflanzenzellen mit möglichster Genauigkeit zu ermitteln. — Dem gleichen Zweck dient allgemein die von De Vries[1] begründete grenzplasmolytische Methode. Sie besteht, wie bekannt, im Aufsuchen der »plasmolytischen Grenzlösung«, der schwächsten, eben noch wahrnehmbare Plasmolyse bewirkenden Konzentration eines gelösten Stoffes, die als isotonisch mit dem Zellsaft angenommen wird. Diese Konzentration läßt sich indes nur für recht wenige Gewebe, wie zum Beispiel für die unterseitige Epidermis der Blattmittelrippe von *Rhoeo discolor*,[2] mit voller Schärfe bestimmen, für die Mehrzahl der Objekte läßt sie sich nur näherungsweise angeben, das heißt zwischen mehr oder weniger enge Grenzen einschließen.

Unter dem osmotischen Wert einer Pflanzenzelle verstehe ich die Maßzahl, welche die dem Zellsaft genau isotonische Konzentration des zur Plasmolyse verwendeten Stoffes angibt.[3] Die gleiche

[1] 1884, Eine Methode zur Analyse der Turgorkraft.

[2] De Vries (l. c., p. 445); Fitting (1915, p. 8f.), vgl. Literaturverzeichnis.

[3] In der Wahl der Bezeichnung folge ich Ursprung und Blum (1916*a*, p. 88). Zur Terminologie der Turgorerscheinungen vgl. außerdem Jost (1913, p. 26), Lepeschkin (1908); der Ausdruck »osmotischer Wert« einer Lösung bei Pfeffer (1897, p. 119). — Obige Definition entscheidet nicht, in welchem Maß die isotonische Konzentration angegeben wird, ob in Gewichtsprozenten oder im Grammolekül-Gehalt gewichtsnormaler oder, wie in dieser Arbeit, im GM-Gehalt volumnormal bereiteter Lösungen.

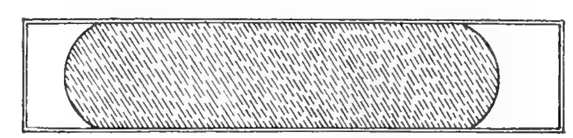
Größe wird vielfach als osmotischer Druck der Zelle bezeichnet. Zur Bestimmung ursprünglicher, unveränderter osmotischer Werte ist Rohrzucker nach dem heutigen Stand unserer Erfahrung das geeignetste Plasmolytikum.[1]

Das Neue an der plasmolytisch-volumetrischen Methode gegenüber der grenzplasmolytischen ist nun, daß sie sich nicht wie diese auf die Beobachtung der schwächsten, eben wahrnehmbaren Plasmolyse in fast noch isotonischer Außenlösung beschränkt, sondern die stärkeren Grade der Plasmolyse in stärker hypertonischen Lösungen in den Kreis der Betrachtung zieht.

Der Grundgedanke ist hierbei der folgende:

Eine Zelle sei in hypertonischer Außenlösung von gegebener Konzentration (die z. B. 0·60 GM Rohrzucker im Liter Lösung enthalte) plasmolysiert. Der Protoplast habe durch Wasserabgabe sein Volum auf den n-ten Teil (z. B. auf drei Viertel) des Innenvolums der Zelle verkleinert (Fig. 1). Ist der Zustand osmotischen Gleichgewichts erreicht und war die Semipermeabilität während

Fig. 1.



des Eintrittes der Plasmolyse vollständig, ist also durchs Protoplasma weder Plasmolytikum eingedrungen noch gelöster Stoff des Zellsaftes ausgetreten, so muß im Protoplasten die Konzentration im selben Verhältnis zugenommen haben, in dem seine Größe abgenommen hat. Hat sich das Volum, wie in Fig. 1, auf $\frac{3}{4}$ des Anfangsvolumens verkleinert, so ist die Konzentration $\frac{4}{3}$ mal größer geworden.

Die Konzentration im endgültig plasmolysierten Protoplasten ist bekannt, sie ist genau isotonisch mit der plasmolysierenden Außenlösung. Sie ist $\frac{4}{3}$ mal so groß wie vor Eintritt der Plasmolyse und gleich 0·60 GM Rohrzucker. Daher war der osmotische Wert des unplasmolysierten Protoplasten, der die entspannte Zelle ausfüllte (dessen Volum dem Innenvolum der entspannten Zelle gleich war), gleich $0 \cdot 60 \times \frac{3}{4} = 0 \cdot 45$ GM Rohrzucker. Dies ist die gesuchte Größe.

Wenn allgemein V_p das Volum des plasmolysierten Protoplasten, V_z das Innenvolum der entspannten Zelle, C die bekannte (volumnormale) Konzentration der plasmolysierenden Lösung und x die gesuchte, dem unplasmolysierten Protoplasten isotonische Konzentration bedeutet, so besteht die Beziehung

$$V_p : V_z = x : C. \qquad 1)$$

Denn das Produkt aus Volum mal Konzentration für den plasmolysierten Protoplasten $V_p . C$ muß, unter der Voraussetzung völliger Impermeabilität und völligen osmotischen Gleichgewichtes, dem des unplasmolysierten Protoplasten $V_z . x$ gleichgeblieben sein.

$$V_p . C = V_z . x. \qquad 2)$$

Wir bestimmen hieraus die Konzentration für den unplasmolysierten Protoplasten, respektive die isotonische Konzentration des Plasmolytikums

$$x = C . \frac{V_p}{V_z} . \qquad 3)$$

[1] Vgl. z. B. Ursprung und Blum (1916 *d*, p. 532). Rohrzucker bietet auch den Vorteil, daß die den einzelnen Konzentrationen entsprechenden physikalischen osmotischen Drucke aus den Messungen Morse's und seiner Mitarbeiter am genauesten bekannt sind; vgl. Findley (1914), Ursprung und Blum (l. c., p. 533), von Lehrbüchern der physikalischen Chemie, z. B. Jellinek (1915, p. 719 f.).

Die Größe x ist der osmotische Wert der Zelle (ich werde sie weiterhin mit dem Symbol O bezeichnen).

Die Grundgleichung (3) sagt aus, daß für eine endgültig plasmolysierte Zelle sich der osmotische Wert, der ihr vor dem Eintritt der Plasmolyse eigen war, bestimmen läßt, indem man die (bekannte) Maßzahl der Konzentration der Außenlösung mit dem (durch Messung zu bestimmenden) Quotienten aus Protoplastenvolum durch inneres Zellvolum multipliziert.

Wir haben zunächst auf einige prinzipielle Bedenken kurz hinzuweisen:

1. Wenn das Volum des Protoplasten bei der Plasmolyse n-mal kleiner wird, so wird dadurch zunächst die Gewichtskonzentration der Zellsaftstoffe n-mal größer. Plasmolytisches Gleichgewicht herrscht aber, wenn Zellsaft und Außenlösung isotonisch sind, wenn sie (bei voller Semipermeabilität der Plasmamembran) gleichen »osmotischen Druck« haben. Wir nehmen also in Gl. (1)—(3) vereinfachend an, daß innerhalb der verglichenen Konzentrationen x und C der osmotische Druck der Gewichtskonzentration direkt proportional zunehme, daß das Mariotte-Van't Hoff'sche Gesetz voll gelte; wir sehen ab zunächst von den kleinen Abweichungen, die allenfalls durch Änderungen im Dissoziationsgrad eventuell vorhandener ionisierter Zellsaftbestandteile erwachsen könnten. Solche Abweichungen müßten offenbar bewirken, daß dem durch Plasmolyse n-mal konzentrierteren Zellsaft nicht n-mal so großer, sondern etwas kleinerer osmotischer Druck zukäme; daher müßte beim Schluß vom plasmolysierten auf den unplasmolysierten Protoplasten der osmotische Wert des letzteren etwas zu niedrig ausfallen. Tatsächlich läßt sich aber leicht durch Rechnung zeigen, daß wir diese Fehlerquelle der Größenordnung nach meist wohl vollständig vernachlässigen dürfen. Für Elektrolyte, wie KNO_3 oder $NaCl$, als Plasmolytika, wäre bei unserer Methode freilich auch der Wechsel im Dissoziationsgrad zu berücksichtigen (obwohl die Vernachlässigung auch hier nicht viel ausmachte); Salzlösungen sind aber ja bekanntlich für die Bestimmung ursprünglicher osmotischer Werte auch schon wegen der komplizierteren Permeabilitätsverhältnisse weniger als Rohrzucker geeignet.

2. Wie besonders Morse's Untersuchungen ergeben haben, gilt auch für die nichtionisierten Rohrzuckerlösungen das Van't Hoff'sche Gesetz nicht ganz. Konzentrierte Lösungen haben hier höhere osmotische Drucke als nach der Proportionalität zu erwarten; besonders im volumnormalen Maß, das uns hier interessiert, ist die Abweichung groß: 0·30 GM Rohrzucker gibt 8·129 Atm., 0·60 GM gibt 17·772 Atm.,[1] der Druck ist nicht 2mal, sondern 2·186mal so hoch. Eine Überlegung zeigt nun aber, daß dieser Umstand für die plasmolytisch-volumetrische Methode nicht allzu sehr ins Gewicht fallen dürfte; physikalische Gründe machen es wahrscheinlich, daß die durch Plasmolyse konzentrierteren Zellsaftlösungen zu den unplasmolysierten bezüglich der Proportionalität von Druck und Konzentration sich wohl ähnlich verhalten dürften, wie die betreffenden isotonischen Rohrzuckerlösungen. Für andere Stoffe als Rohrzucker sind die osmotischen Atmosphärendrucke freilich nicht hinreichend genau gemessen. Nur Unterschiede in der Abweichung vom Van't Hoff'schen Gesetz für Zellsaft und Plasmolytikum — sofern solche bestehen sollten — könnten aber für uns zu Fehlerquellen werden, nicht die Abweichung selbst. Der Fehler bliebe voraussichtlich wohl auch hinter dem durch die elektrolytischen Zellsaftteile bedingten zurück.

3. Praktisch weit bedeutsamer ist ein drittes Bedenken. Die Volumverkleinerung bei der Plasmolyse betrifft ja streng genommen nur die Vakuole, nicht den Gesamtprotoplasten. Auf die hieraus entstehende Komplikation werden wir am Ende des allgemeinen Teiles noch ausführlich zurückkommen und es möge für jetzt die Bemerkung genügen, daß die Grundgleichung (3) und überhaupt die Ausführungen der ersten Paragraphen zunächst gültig sind für den Grenzfall einer Zelle mit so großem Saftraum und so dünnem Wandprotoplasma, daß dessen Volum dem Vakuolenvolum gegenüber vernachlässigt werden darf.

Wo diese angeführten Faktoren keine nachträgliche Korrektur nötig machen, da ist das Prinzip unserer Methode, wie man aus Gl. (3) sieht, höchst einfach. Eine analoge Schlußweise ist übrigens in der Pflanzenphysiologie seit langem eingebürgert. Man pflegt aus der Größe des osmotischen Wertes der entspannten Zelle im Moment der Grenzplasmolyse auf die der turgeszenten Zelle zu schließen nach dem Verhältnis der Volumverkleinerung, von der die Entspannung begleitet war;[2] auch unsere plasmolytisch-volumetrische Methode ergibt — worauf bei dieser Gelegenheit gleich ausdrücklich hingewiesen sei — wie die grenzplasmolytische natürlich direkt nur die osmotischen Werte entspannter Zellen.

---

1 Nach Ursprung und Blum (1916*d*, p. 533).

2 Vgl. zum Beispiel Jost (1913, p. 560), Pantanelli (1904, p. 315), Höber (1914, p. 69) und besonders jüngst Blum (1917, p. 343).

Daß der einfache Grundgedanke der Methode m. W. noch nie für osmotische Größenbestimmung verwertet worden ist, das mag wohl in den Schwierigkeiten begründet sein, die exakte Volumbestimmungen des Protoplasten und des Zellhohlraumes zu bieten scheinen.

Darum sollen vor allem einige Beispiele für die Volumbestimmung gegeben werden.

§ 2. Die Volumbestimmung.

Wir betrachten als erstes Beispiel eine ganz einfach geformte Zelle, zunächst eine genau zylindrische mit kreisförmigem Querschnitt. Sie sei in einer Lösung von 0·60 GM Rohrzucker plasmolysiert und der Protoplast habe endgültige Größe und Gestalt angenommen, das heißt solche, die er bei fortgesetztem Verweilen in der Lösung im Laufe der nächsten Zeit unverändert beibehält.

Nun geht aus obiger Gl. (3)

$$x = C \frac{V_p}{V_z}$$

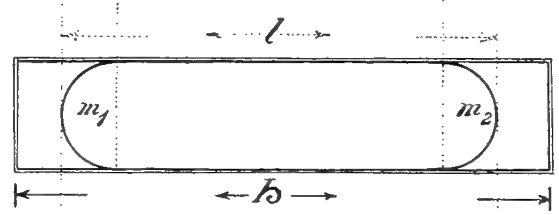
vor allem andern hervor, daß wir die absoluten Werte für das Volum des Zellumens und des Protoplasten, V_p und V_z, nicht zu kennen brauchen. Es kommt nur aufs Verhältnis $V_p : V_z$ an.

Das Innenvolum V_z der zylindrischen Zelle ist gleich dem Querschnitt q mal der Innenlänge der Zelle h (Fig. 2).

$$V_z = q \cdot h. \qquad 4)$$

Der endgültig plasmolysierte Protoplast zeigt erfahrungsgemäß oft die in Fig. 1 und 2 dargestellte Form. Sein Volum denken wir uns aus drei Teilen bestehend: einen mittleren rein zylindrischen und zwei meniskusförmigen Kappen. Der mittlere Teil ist gleich seinem Querschnitt q mal

Fig. 2.



seiner Länge. Die Kappen nehmen in manchen Zellen (zum Beispiel bei Spirogyra) schließlich genau Halbkugelform an, wenn das lebende Protoplasma dem Bestreben, mit seiner freien Oberfläche Minimumsflächen zu bilden, hat folgen können und nicht etwa durch Adhäsion an der Zellwand gehindert war. Ist die halbkugelige Gestalt erreicht, so füllen nun die Menisci genau zwei Drittel des umgeschriebenen zylindrischen Zellabschnittes (in Fig. 2 durch aufrechte punktierte Linien begrenzt). Denn das Volumen der Halbkugel ist gleich

$$\frac{2}{3} r^3 \pi = \frac{2}{3} r q,$$

das des umschriebenen Zylinders $= r q$. Also sind die halbkugeligen Menisci um ein Drittel kleiner als der gleich hohe Teil des Zellumens. Das Volum des ganzen Protoplasten ist demnach gleich seiner Grundfläche q (dem Zellquerschnitt) mal seiner größten Länge l, vermindert um den dritten Teil der Höhe der beiden Menisci.

$$V_p = q \cdot l - 2 q \frac{m}{3} = q \left(l - 2 \frac{m}{3} \right) \qquad 5)$$

Aus (4) und (5) ergibt sich das Volumverhältnis zwischen Protoplasten und Zellhohlraum.

$$\frac{V_p}{V_z} = \frac{q\left(l-2\,\frac{m}{3}\right)}{q\,h} = \frac{l-2\,\frac{m}{3}}{h}\,. \tag{6}$$

Der Zellquerschnitt q fällt aus der Gleichung heraus, wofern er für die ganze Länge der Zelle konstant ist, wenn also die Zellenden gar nicht verschmälert sind. Seine Größe braucht in diesem Falle nicht bekannt zu sein.

Wir haben also zur Bestimmung des Volumverhältnisses, in dem sich der Protoplast in Fig. 2 bei der Plasmolyse verkleinert hat, nur zu messen:

die (innere) Länge der Zelle . . . . h
die größte Länge des Protoplasten l
und die Höhe jedes Meniskus . . . . m_1, m_2

Da wir nicht die absoluten Volumgrößen, sondern nur die Verhältniszahl für $V_p : V_z$ ermitteln wollen, so ist es unnötig, diese Maße im absoluten Längenmaß, in μ, auszudrücken; die Maßeinheit kann beliebig gewählt werden. Ich nahm als solche stets einen Teilstrich des für die Messungen verwendeten Okularmikrometers an.

Die Berechnung gestaltet sich dann für eine Zelle wie die in Fig. 2 abgebildete ganz einfach. Hier ist $h = 60'$ (Mikrometerstriche), $l = 49'$, $m_1 = m_2 = 6'$.

$$\frac{V_p}{V_z} = \frac{l-2\,\frac{m}{3}}{h} = \frac{49-\frac{2\times 6}{3}}{60} = \frac{45}{60} = \frac{3}{4}\,.$$

War die Zelle in 0·60 GM Rohrzucker plasmolysiert, so ist ihr osmotischer Wert gleich $0{\cdot}60 \times \frac{3}{4} = 0{\cdot}45$ GM Rohrz.

In zylindrischen Zellen aus Geweben höherer Pflanzen sind allerdings die Protoplastenmenisci, auch wenn bei der Plasmolyse die Endform erreicht ist, in der Regel nicht genau halbkugelig, sondern etwas schwächer vorgewölbt. Wie modifiziert sich nun in solchen Fällen die oben aufgestellte Gl. (6) für das Volumverhältnis $V_p : V_z$? Die Protoplaste nehmen auch hier in ihrer freien Oberfläche gleichmäßige Rundung an. Wir dürfen die Oberfläche der Menisci, der direkten Beobachtung entsprechend und übrigens auch aus physikalischen Gründen, als echte Kugelflächen ansehen und somit die Menisci selbst als Kugelsegmente in Rechnung stellen.

Das Kugelsegment erfüllt nicht, wie die Halbkugel, zwei Drittel, sondern einen etwas kleineren Teil des umgeschriebenen Kreiszylinders von gleicher Basis und Höhe. Während also die halbkugeligen Protoplastenmenisci nur ein Drittel des gleichhohen Zellabschnittes leer lassen und ihre Höhen m in Gl. (5) und (6) dementsprechend mit dem Faktor $\frac{1}{3}$ zu multiplizieren waren, ändert sich für kugelsegmentförmige Menisci dieser Faktor; wir wollen ihn »Meniskusfaktor« nennen und mit dem Symbol λ bezeichnen. Er wird umso größer, je flacher die Menisci werden, das heißt, je kleiner ihre Höhe m im Verhältnis zur Zellbreite wird.

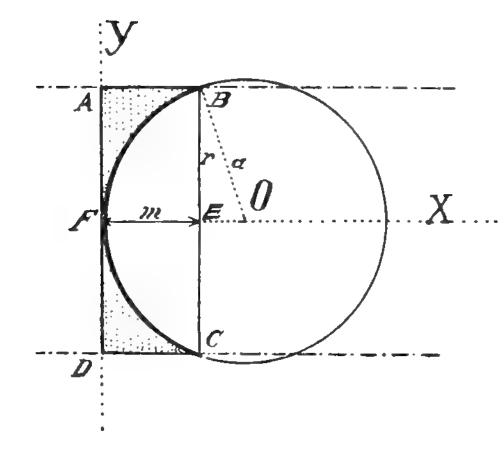
Die Volumbestimmung von Protoplasten, deren Menisci Kugelsegmente sind, scheint auf den ersten Blick nicht leicht. Tatsächlich haben wir es in der Praxis fast immer mit Protoplasten solcher Form zu tun, rein halbkugelige Menisci sind relativ seltene Ausnahmen.

So erscheint die exakte Behandlung des Falles als unentbehrliches Fundament unserer Methode. Ich darf nur vielleicht vorausschicken, daß die nun folgende mathematische Ableitung, als solche, für den weiteren Zusammenhang nicht von Belang ist; nur das Resultat, die nach Gl. (7) berechneten und in der Schlußtabelle zusammengestellten »Meniskusfaktoren« sind für den praktischen Gebrauch von großer Wichtigkeit.

Mit welchem Meniskusfaktor sind also die in den plasmolysierten Protoplasten gemessenen Meniskushöhen in jedem einzelnen Fall zu multiplizieren?

Fig. 3 veranschaulicht die Verhältnisse. Auf die Zelle bezogen, würde der stark ausgezogene Teil des Kreises BFC der sichtbaren Kontur des Protoplasten entsprechen (der übrige Kreis ist Hilfsfigur). Die Geraden, denen die Strecken AB und DC angehören, wären die seitlichen Zellwände; m ist die gemessene Meniskushöhe; das Rechteck $ABCD$ ist der gleichhohe Zellabschnitt, der punktierte Teil desselben der neben dem Meniskus freibleibende Raum, um dessen Größe es sich uns handelt.

Fig. 3.



Außer m kann in der Zelle noch die halbe innere Zellbreite r, jedoch natürlich nicht der Krümmungsradius a, gemessen werden.

Mathematisch heißt unsere Aufgabe: »Wie verhält sich das Volum des Kugelsegmentes (dessen Höhe m und Grundradius r gegeben sind) zu dem des umgeschriebenen Kreiszylinders mit gleicher Basis und Höhe?«

S sei das Volum des Kugelsegmentes, Z das Volum des Zylinders, m und r deren Höhe und Grundradius, a der konstante Kugelradius. Zu bestimmen ist das Verhältnis $S : Z$, als unabhängig Veränderliche sind die Größen m und r oder deren Verhältnis $m : r$ zu verwenden.

In Fig. 3 ist

$$r^2 = 2\,am - m^2 \qquad a)$$

(als Scheitelgleichung des Kreises; im rechtwinkeligen Dreieck OEB ist $a^2 = r^2 + (a-m)^2$; daraus folgt

$$a = \frac{r^2 + m^2}{2m}. \qquad b)$$

Das Volum des Kreiszylinders Z, der durch Rotation des Rechteckes $ABCD$ um die X-Achse entsteht, ist

$$Z = r^2 \pi m. \qquad c)$$

Das Kugelsegment entsteht durch Rotation des Kreissegmentes BFC um die X-Achse. Sein Volum bestimmen wir am raschesten mittels Integralrechnung

$$S = \pi \int_0^m r^2\, dm$$

$$= \pi \int_0^m (2\,am - m^2)\, dm \qquad \text{aus Gl. } a)$$

$$= \pi \left(a m^2 - \frac{m^3}{3}\right) = \pi m^2 \left(a - \frac{m}{3}\right).$$

Die Formel ist aus der Stereometrie bekannt und kann umständlich auch auf elementarem Wege abgeleitet werden. Der Kugelradius a ist nach Gl. (b) durch unsere gegebenen Größen m und r auszudrücken.

$$S = \pi m^2 \left(a - \frac{m}{3}\right)$$

$$= \pi m^2 \left(\frac{r^2 + m^2}{2m} - \frac{m}{3}\right)$$

$$= \pi m^2 \frac{3r^2 + m^2}{6m}$$

$$= \frac{\pi m}{6}(3r^2 + m^2) = \frac{r^2 \pi m}{2} + \frac{\pi m^3}{6} \qquad d)$$

Aus Gl. (c) und (d) folgt das Resultat:

$$\frac{S}{Z} = \frac{\frac{r^2\pi m}{2} + \frac{\pi m^3}{6}}{r^2 \pi m} = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}\left(\frac{m}{r}\right)^2. \qquad e)$$

Der Quotient $m : r$ ist hier die independent Variable. Aus ihm gewinnen wir den Quotienten $S : Z$, der angibt, einen wie großen Teil des umgeschriebenen Zylinders der kugelsegmentförmige Meniskus erfüllt.

Der Meniskusfaktor λ endlich, den wir in letzter Linie suchen, gibt an, einen wie großen Teil vom gleichhohen Zellabschnitt der Meniskus neben sich leer läßt (in Fig. 3 punktiert); $\lambda = 1 - \frac{S}{Z}$.

Die funktionale Beziehung zwischen λ und dem Verhältnis $m:r$ ist also folgende:

$$\lambda = 1 - \frac{S}{Z} = \frac{1}{2} - \frac{1}{6}\left(\frac{m}{r}\right)^2 \qquad 7)$$

Die folgende Tabelle dient dem Gebrauch beim plasmolytisch-volumetrischen Arbeiten. Sie enthält in der ersten Spalte die (durch mikroskopische Messungen zu bestimmenden) Werte für $m:r$ (Meniskushöhe: halbe innere Zellbreite), in der zweiten die zugehörigen, nach Gl. (7) berechneten Werte des Meniskusfaktors λ.

$m:r$	λ	$m:r$	λ
0 : 10	$0\cdot5 = \frac{1}{2}$	6 : 10	0·44
		7 : 10	0·4183
1 : 10	$0\cdot498\dot{3}$	8 : 10	$0\cdot39\dot{3} = \frac{2}{5}$
2 : 10	$0\cdot49\dot{3}$		
		9 : 10	0·365
3 : 10	0·485		
4 : 10	$0\cdot47\dot{3}$	10 : 10	$0\cdot\dot{3} = \frac{1}{3}$
5 : 10	$0\cdot458\dot{3}$		

λ schwankt zwischen $\frac{1}{3}$ und $\frac{1}{2}$. Der Wert $\frac{1}{3}$ entspricht der Halbkugel. Bei geringer Abweichung von der Halbkugelform ändert sich λ erst rasch, später langsam. Für flache Menisci wird λ sehr annähernd $= \frac{1}{2}$.

Wenn also der endgültig plasmolysierte Protoplast anstatt halbkugeliger kugelsegmentförmige Menisci hat, so wird doch dadurch die Bestimmung des Volumverhältnisses um nichts weniger einfach. Nur tritt an die Stelle des Faktors $\lambda = \frac{1}{3}$ der in der voranstehenden Tabelle gegebene Faktor.

Gl. (6) heißt jetzt allgemeiner

$$\frac{V_p}{V_z} = \frac{l - 2\lambda m}{h}. \qquad 8)$$

Bei der mikroskopischen Messung hat man zu den Größen h, l, m_1, m_2 noch die weitere r, als halbe innere Zellbreite, respektive als halben Durchmesser des optischen Querschnittes, zu bestimmen.

Angenommen, es sei z. B. jede Meniskushöhe $= 8'$ und die innere Zellbreite $= 20'$, daher $r = 10'$. Aus dem Verhältnis $m:r = 8:10$ folgt nach der Tabelle $\lambda = 0\cdot393 = 0\cdot4$. Für eine Zelle wie die in § 4, Fig. 5, abgebildete, ist z. B. $h = 80'$, $r = 10'$, $m_1 = m_2 = 8'$ und in 0·40 GM Rohrz. $l = 66\frac{1}{2}$. Es folgt

$$\frac{V_p}{V_z} = \frac{66\frac{1}{2} - 2 \times 8 \times 0\cdot4}{80} = \frac{60\cdot1}{80} = \frac{3}{4},$$

der osmotische Wert $O = 0\cdot40 \times 0\cdot75 = 0\cdot30$ GM Rohrz.

Allzugroße Genauigkeit ist bei der Wahl des Meniskusfaktors λ meist nicht von nöten. Denn der Einfluß kleiner Abweichungen auf das Endresultat $V_p : V_z$ ist höchst unbeträchtlich und und sinkt leicht in die Größenordnung der Messungsfehler herab. Wird speziell für das Volumverhältnis Genauigkeit auf 2 Dezimalen angestrebt, so genügt es sehr oft, besonders für s c h m ä l e r e Zellen, den Meniskusfaktor λ auf $\frac{1}{3}$, 0·35, 0·4, 0·45, 0·5 abzurunden; dadurch wird die Berechnung des

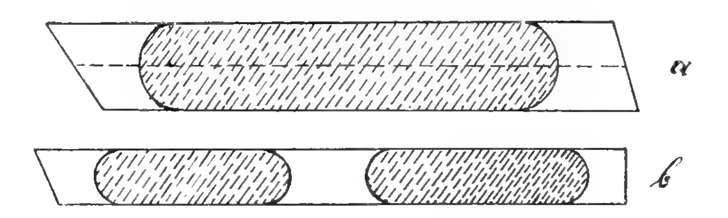
Zählers im Bruch $\frac{V_p}{V_z}$ so einfach, daß sie leicht im Kopf ausgeführt werden kann. Für ganz präzise Bestimmungen wird λ der Tabelle entnommen oder nach Gl. (7) berechnet.

Für gleiche Zellen eines plasmolysierten Präparates zeigt das Verhältnis $m:r$ — und damit auch λ — oft recht gleichmäßige Werte und braucht nur einmal bestimmt zu werden.

In ganz gleicher Weise wie für die bisher betrachteten einfachen Zellformen kann die Bestimmung des Volumverhältnisses in einigen weiteren Fällen geschehen.

Sind die Endflächen der Zellen nicht senkrecht, sondern schräg, also die Zelle in der Aufsicht nicht rechteckig, sondern trapezförmig (Fig. 4*a*), so ist natürlich einfach in Gl. (6) und (8) die mittlere Zellänge als h zu verwenden. Liegt der Protoplast einseitig der Querwand an oder teilt er sich

Fig. 4.



bei der Plasmolyse in mehrere Stücke, so sind im Zähler entsprechend ein Meniskus oder 4, 6 m in Abzug zu bringen.[1]

Ist endlich der Querschnitt der Zelle nicht genau kreisförmig, sondern z. B. polygonal-rundlich oder mehr-weniger abgeplattet, wie das ja bei den meisten im Gewebeverbande befindlichen Zellen der Fall ist, so kann das Volumverhältnis $V_p : V_z$ doch in der angegebenen einfachen Weise — wenigstens mit großer Annäherung — bestimmt werden,[2] wofern nur die Zelle an allen Stellen gleich breit, respektive der Querschnitt überall konstant ist.

---

[1] So ist in Fig. 4*b* die mittlere Zellänge $h = 65'$, die Protoplasten sind $l_1 = 22'$, $l_2 = 25'$, die nahezu halbkugeligen Menisci $m_1 = m_2 = m_3 = m_4 = 3'$.

$$\frac{V_{(p_1+p_2)}}{V_z} = \frac{l_1 + l_2 + 4\,\frac{m}{3}}{h} = \frac{22 + 25 - 4}{65} = \frac{43}{65} = 0 \cdot 66.$$

[2] Die Menisci sind in Zellen, die sich der prismatischen Form nähern, freilich in Wahrheit komplizierter geformt. Ihre Höhen sind kleiner im optischen Querschnitt zwischen den Flächen, größer zwischen den Kanten. Für die praktische Bestimmung des Volumverhältnisses genügt es aber vollkommen, wenn die Zelle als Zylinder, der Meniskus als Kugelsegment angenommen und wenn zur Wahl des Faktors λ eine mittlere Meniskushöhe m und eine mittlere Zellbreite $2r$ verwendet wird. Einige komplizierte Rechnungen, die demonstrieren, wie klein so der Fehler für $V_p : V_z$ bleibt, kann ich aus Raumrücksichten nicht in extenso mitteilen. — Denken wir uns einmal eine prismatische, im Querschnitt regelmäßig sechseckige Zelle und in ihr einen von einer Kugelfläche begrenzten Meniskus. Dessen Höhe m wird dann, zwischen den Flächen gemessen, nur halb so groß als zwischen den Kanten sein. Die Durchmesser sind $r\sqrt{3}$ und $2r$. Also wird $\frac{m}{r}$ zwischen den Kanten $= 1$, $\frac{m'}{r'}$ zwischen den Flächen $\frac{\sqrt{3}}{3} = 0 \cdot 61$. Wenn wir als Mittelwert $\frac{m}{r} = 0 \cdot 8$ und demnach $\lambda = 0 \cdot 4$ annehmen, so kommen wir der Wahrheit sehr nahe und der Fehler für $V_p : V_z$ bleibt weit unter der Grenze der Messungsfehler.

Hier sei im Hinblick auf eventuelle spätere Diskussion noch folgende Bemerkung erlaubt. Wenn wir die Protoplastenmenisci als Kugelsegmente annahmen, so dient dies vor allem dem praktischen Zweck der Volumbestimmung. Es soll damit keine kapillartheorethische Behauptung aufgestellt werden. Ich sage nicht, daß in genau kreiszylindrischen Zellen die Meniskusoberfläche einen endlichen Randwinkel mit der Zellwand bilde. Ja vielleicht ist die — in Gewebszellen so oft zu beobachtende — Abweichung der Menisci von der Halbkugelform meist auch durch Abweichungen des Zellquerschnittes von der Kreisform bedingt.

Zellen von anderer als zylindrisch-prismatischer Form sind für genaue plasmolytisch-volumetrische Messungen im allgemeinen minder gut geeignet. Doch läßt sich die Volumbestimmung natürlich auch durchführen. Ich habe das, besonders in der ersten Zeit meiner Untersuchungen, mehrfach getan, bin dann aber zur alleinigen Verwendung zylindrischer Zellen zurückgekehrt; brauchbares Versuchsmaterial ist ja in reichster Auswahl vorhanden. Hier dürfen wir von der speziellen Berechnung für andere Zellformen wohl absehen.

Volummessungen für plasmolysierte Protoplaste sind zum ersten — und, soweit ich sehe, bisher einzigen — Mal von Lepeschkin (1908, p. 209, 1909, p. 138), und zwar an den regelmäßig halbkugelig begrenzten Protoplasten von Spirogyra, durchgeführt worden. Es lag indes nicht im Plan der Untersuchungen Lepeschkin's, zum Zwecke absoluter osmotischer Wertbestimmung das Protoplastenvolum zum inneren Zellvolum in Beziehung zu setzen.[1]

Über exakte vergleichende Bestimmungen der Zellgröße im turgeszenten und entspannten Zustand haben Ursprung und Blum in jüngster Zeit (1916*d*, Blum 1917) — nach Schluß des experimentellen Teiles dieser Arbeit — berichtet.

§ 3. Der Grad der Plasmolyse.

Der osmotische Wert einer in hypertonischer Rohrzuckerlösung plasmolysierten Zelle ist, wie im Anfang gezeigt wurde, gleich dem Produkt aus dem Wert dieser Lösung mal der Maßzahl für das Volumverhältnis des plasmolysierten Protoplasten zum Innenvolum der Zelle. Diese Verhältniszahl wurde im vorigen Abschnitt, zunächst für zylindrische Zellen, ermittelt. Sie ist von größter Wichtigkeit sowohl für die hier beschriebene plasmolytisch-volumetrische Methode, als auch, wie ich glaube, für die Betrachtung plasmolytischer Erscheinungen überhaupt. Sie gibt in sinngemäßer Weise an, wie stark eine Zelle plasmolysiert ist. Indem so außer schwächster, eben wahrnehmbarer »Grenzplasmolyse« auch alle anderen, bisher qualitativ als »schwach«, »ziemlich stark«, »stark« bezeichneten Plasmolysen einer zahlenmäßigen, quantitativen Charakterisierung zugänglich werden, wird der Bereich exakter plasmolytischer Forschung — auch im Hinblick auf Permeabilitätsfragen zum Beispiel — wohl wesentlich ausgedehnt.

Um daher die bisher gebrauchte etwas weitschweifige Umschreibung nicht jedesmal wiederholen zu müssen, möchte ich einen einfachen Namen einführen. Es bietet sich der Ausdruck: Grad der Plasmolyse; ich verstehe also darunter fortan die Maßzahl für das Volumverhältnis zwischen dem plasmolysierten Protoplasten und dem Innenvolum der entspannten Zelle. Zur Bezeichnung schlage ich als Symbol den Buchstaben G vor. Also

$$G = \frac{V_p}{V_z}. \qquad 9)$$

G ist eine unbenannte Zahl, ein echter Bruch, kleiner als 1, für die unplasmolysierte Zelle gleich 1. Je schwächer die Plasmolyse, desto weniger weicht G von 1 ab.

Während die Plasmolyse eintritt, nimmt der Grad der Plasmolyse allmählich zu (der Zahlenwert für G ab). Wenn in der endgültig plasmolysierten Zelle der Grad konstant (und meßbar) geworden ist, dann kann, wie ich wiederhole, aus der Maßzahl G und der bekannten Konzentration der plasmol. Lösung C — unter der Annahme voller Semipermeabilität des Protoplasmas für Lösung und Zellsaftstoffe — der osmotische Wert O für die unplasmolysierte, entspannte Zelle bestimmt werden nach Gl. (1), die jetzt heißt:

[1] Nach unserer einfachen Grundgleichung wäre das auch für Spirogyra nicht zulässig (vgl. § 5 über eine interessante Bemerkung Lepeschkin's).

$$G = \frac{V_p}{V_z} = \frac{O}{C}. \qquad 10)$$

O berechnet sich also einfach als Produkt

$$O = C.G. \qquad 11)$$

In Fig. 1 und 2 war die Konzentration der Außenlösung $C = 0 \cdot 60$ GM Rohrz. und der Grad der Plasmolyse $G = 0 \cdot 75$. Daher der osmotische Wert der Zelle vor der Plasmolyse

$$O = C.G = 0 \cdot 60 \times 0 \cdot 75 = 0 \cdot 45 \text{ GM Rohrz.}$$

Unter dem Grad der Plasmolyse für ein Gewebe aus gleichartigen Elementen werden wir passend den Mittelwert zwischen den Graden der einzelnen Zellen verstehen, wobei sich die größte und die mittlere Abweichung der Einzelwerte vom Mittelwert nach unserer Methode bestimmen läßt.

Der Ausdruck »Grad der Plasmolyse« stammt von De Vries. Er begegnet in dessen deutschen Schriften 1884 in der grundlegenden Arbeit »Eine Methode zur Analyse der Turgorkraft«[1] und sehr häufig 1885 in den »Plasmolytischen Studien über die Wand der Vakuole«. In dieser letztgenannten Arbeit hat unmittelbaren Bezug auf das Vorliegende die folgende Stelle (p. 550*f*, aus dem Paragraphen über Protoplasmapermeabilität für gelöste Stoffe, beurteilt aus der nachträglichen Ausdehnung plasmolysierter Protoplaste).

»Als Resultat jedes einzelnen Versuches bekommt man also eine Reihe von Angaben über den Grad der Plasmolyse in den sämmtlichen, stets mehrere Hunderte umfassenden Zellen desselben Präparates zu verschiedenen Zeiten. Um diese Angaben in bequemer und übersichtlicher Form ausdrücken zu können, habe ich stets die Größe der Protoplaste mit der des Zellraumes verglichen und mich darauf beschränkt, in dieser Beziehung vier Hauptstufen zu unterscheiden. Ich entschied nach dem Augenmaß, was bei einiger Übung in der überwiegenden Zahl der Fälle nicht schwer war, ob die Protoplaste ein Viertel, die Hälfte oder drei Viertel des Zellraumes erfüllten und deutete diese Fälle mit den Ziffern 1 bis 3 an, während die Zahl 4 angab, daß der Protoplast den ganzen verfügbaren Raum einnahm. Dadurch konnten die Resultate in tabellarischer Form zusammengefaßt werden; es bedeutet somit in den Tabellen:

1.....Der Protoplast erfüllt ungefähr ein Viertel oder weniger der Zelle.

2.....Der Protoplast erfüllt ungefähr die Hälfte (zwei Viertel der Zelle).

3.....Der Protoplast erfüllt etwa drei Viertel der Zelle oder mehr, aber nicht den ganzen Innenraum.

4.....Keine Plasmolyse (vier Viertel erfüllt).....Die Vergleichung der Größe der Protoplaste mit der der Zellen bezieht sich selbstverständlich nicht auf das Volumen, sondern nur auf den Umfang der mikroskopischen Bilder.«

An diesen De Vries'schen Gebrauch des Ausdruckes »Grad der Plasmolyse« schließt sich meine obige Definition vollkommen an, wie aus der angeführten Stelle wohl hervorgeht. Die Präzisierung des Begriffes dürfte erlaubt sein, nachdem ich die Bestimmung des wirklichen Volumverhältnisses zur Grundlage meiner Methode gemacht und im vorigen Abschnitte für zylindrische Zellen auch praktisch durchgeführt habe.

Auch in der modernen Literatur wird der Ausdruck »Grad der Plasmolyse« mehrfach in durchaus gleichem Sinne verwendet.

Ein anderer spezieller Gebrauch fällt jetzt allerdings nicht mehr unter unseren näher bestimmten, darum umfangärmeren Begriff. In seinen für die plasmolytische Methodik so wichtigen »Untersuchungen über die Aufnahme von Salzen in die lebende Zelle« (1915) zeigt Fitting, daß sich für das klassische Objekt der Blattnervepidermis von *Rhoeo discolor* die grenzplasmolytische Methode als so ausbildungsfähig erweist, daß Salzlösungen von nur $0 \cdot 0025$ GM Konzentrationsdifferenz deutliche Unterschiede in ihrer plasmolytischen Wirkung erkennen lassen. In benachbarten Lösungen zeigten

---

[1] Z. B. p. 469, 518.

zum Beispiel[1] in 0·095 GM. KNO_3 vereinzelte Zellen, in 0·0975 GM etwa die Hälfte, in 0·1 GM drei Viertel, in 0·125 GM fast alle Zellen Plasmolyse. Der Anteil der grenzplasmolysierten Zellen an der Gesamtzahl der Zellen betrug also $v, \frac{1}{2}, \frac{3}{4}, \infty$. Diese Werte nennt Fitting gelegentlich Grade der Plasmolyse.[2] Vielleicht dürfen die Zahlen, die den grenzplasmolytischen Zustand näher charakterisieren helfen, künftig, wo Verwechslung möglich, anders bezeichnet werden. —

Zur rein nomenklatorischen Frage möge hier noch eine Bemerkung Platz finden. Wir verstanden unter dem Grad der Plasmolyse das Volumverhältnis zwischen plasmolysiertem Protoplasten und Zellumen, dementsprechend gibt die Maßzahl G direkt an, einen wie großen Teil des Zellraumes der Protoplast erfüllt. Hat sich der Protoplast auf $\frac{4}{5}$ des Volumens vor der Plasmolyse (und nach Aufhebung der Turgordehnung) verkleinert, also ein Fünftel dieses ursprünglichen Volums durch Wasserentzug eingebüßt, so ist $G = \frac{4}{5} = 0·80$: es ist Plasmolyse auf $\frac{4}{5}$ eingetreten, entsprechend einer Volumverminderung um $\frac{1}{5}$. Nun werde die Zelle in konzentriertere Außenlösung übertragen und dort noch stärker plasmolysiert, so daß dem Protoplasten z. B. ein weiteres Fünftel des Anfangsvolums durch Wasserabgabe entzogen werde; jetzt ist die Plasmolyse doppelt so stark, G beträgt nur mehr $\frac{3}{5}$: Der stärkeren Plasmolyse entspricht also nach unserer Bezeichnungsweise ein kleinerer absoluter Zahlenwert für den Grad der Plasmolyse. Das mag als unnatürlich erscheinen. Die Disharmonie würde vermieden, wenn man anstatt für $\frac{V_p}{V_z} = G$ lieber für die Größe $1 - \frac{V_p}{V_z}$ ein Maß einführen, also im obigen Beispiel statt von einer Plasmolyse auf $\frac{4}{5}$ lieber von einer Plasmolyse um $\frac{1}{5}$ (was ja dasselbe wäre) sprechen wollte. Trotzdem möchte ich das nicht tun. Die ungemein klare Beziehung, daß der osmotische Wert einer endglütig plasmolysierten Zelle aus dem bekannten osmotischen Wert der Außenlösung durch einfache Multiplikation mit dem Faktor G erhalten wird läßt vielmehr die gewählte Fassung des Begriffes $G = \frac{V_p}{V_z}$ wohl als zweckmäßig und berechtigt erscheinen. So wird es sich im Interesse einer einheitlichen Benennung plasmolytischer Erscheinungen empfehlen, stets mit dem Grad der Plasmolyse $G = \frac{V_p}{V_z}$, nicht mit der Differenz dieser Größe auf 1, zu arbeiten.

§ 4. Proportionalität im Grade der Plasmolyse.

Nachdem nun der Begriff des Grades der Plasmolyse zur Verfügung steht, können wir übergehen zu einem der wichtigsten Charakterisierungspunkte der plasmolytisch-volumetrischen Methode.

Der osmotische Wert für eine Pflanzenzelle wurde in den bisherigen schematischen Beispielen aus einem einzigen Versuch berechnet. Es brauchte nur der endgültige Grad der Plasmolyse in einer Außenlösung von bekannter Stärke ermittelt zu werden.

Nun liegt es im Wesen unserer Methode, daß sie nicht auf die Beobachtung nur eines Grades der Plasmolyse (wie die grenzplasmolytische Methode auf den schwächsten eben wahrnehmbaren)

[1] l. c., Versuch 50, p. 16.

[2] l. c., z. B. p. 6.

beschränkt ist, sondern daß sie, theoretisch zumindest, mit verschiedenen starken Graden in verschieden stark hypertonischen Außenlösungen gleich gute Resultate liefert.

Von diesem Umstand können wir Gebrauch machen, zunächst, indem wir uns der gewöhnlichen, von der grenzplasmolytischen Methodik her üblichen Versuchsanstellung bedienen.

Stehen mehrere Zellen, deren Übereinstimmung im osmotischen Wert angenommen werden darf, oder ein Gewebe aus gleichwertigen Elementen zur Verfügung, so bringen wir Zellen oder Teile des Gewebes direkt in Lösungen verschiedener Konzentration. Sie plasmolysieren hier verschieden stark. Nach der grenzplasmolytischen Methode wird bekanntlich die schwächste eben noch plasmolysierende Äußenlösung als isotonisch angenommen, obwohl sie ja in Wahrheit schwach hypertonisch ist. Wir richten unser Augenmerk nicht auf sie, sondern auf die sämtlichen stärkeren Lösungen und die in ihnen plasmolysierten Präparate. Aus jedem berechnen wir nach unserer Methode den wahren osmotischen Wert. Wir erhalten offenbar soviel unabhängige Werte, als Präparate untersucht wurden: Stimmen diese überein, dann wird dem Resultat hierdurch der Charakter weitgehender Zuverlässigkeit verliehen. Die Übereinstimmung im Resultat besteht aber, wenn die Produkte aus Außenkonzentration und erreichtem Grad einander alle gleich sind, wenn $C_1 \cdot G_1 = C_2 \cdot G_2 = C_3 \cdot G_3 \ldots$; dies bedarf nach dem Vorangegangenen wohl keiner Ausführung mehr.

Wir gehen einen Schritt weiter: Anstatt einer Reihe gleicher, respektive als gleich anzunehmender, Präparate verwenden wir ein einziges. Es wird in mäßig hypertonischer Außenlösung bis zum Gleichgewicht plasmolysiert und in beliebig vielen Zellen der »Grad« abgelesen. Dasselbe Präparat wird darauf in konzentriertere Lösung gebracht und, nachdem hier plasmolytisches Gleichgewicht in Bezug auf Größe und Gestalt erreicht, in denselben individuellen Zellen wie früher der jetzige stärkere Grad der Plasmolyse bestimmt; dann wird neuerdings stärker plasmolysiert. Im Falle des Gelingens werden für jede Einzelzelle alle erhaltenen Grade auf denselben osmotischen Wert O vor der Plasmolyse hinweisen; diesen dürfen wir wohl als den wahren osmotischen Wert der (entspannten) Zelle vor der Plasmolyse ansprechen.[1]

Da bei solcher Versuchsanordnung dasselbe Präparat stufenweise in Lösungen steigender Konzentration übertragen wird, so bezeichne ich derartige Versuche kurz als Stufenversuche.

Beiden angeführten Versuchsformen ist gemeinsam, daß untersucht wird, ob die in verschieden konzentrierter Außenlösung erreichten Grade der Plasmolyse die zu erwartende Gesetzmäßigkeit zeigen, ob alle denselben osmotischen Wert O ergeben. Soll das der Fall sein, so müssen alle Produkte aus Außenkonzentration und Grad einander gleich sein.

$$C_1 \cdot G_1 \doteq C_2 \cdot G_2 = C_3 \cdot G_3 \ldots$$

Mit andern Worten, die erreichten Grade der Plasmolyse müssen den Konzentrationen der betreffenden plasmolysierenden Lösungen umgekehrt proportional sein:

$$G_1 : G_2 : G_3 = C_3 : C_2 : C_1. \qquad 12)$$

Demgemäß fasse ich die zwei beschriebenen Formen und überhaupt alle plasmolytisch-volumetrischen Versuche, die zum Zweck sicherer Bestimmung des wahren osmotischen Wertes dasselbe Objekt in mehreren, verschieden stark plasmolysierenden Konzentrationen betrachten, unter dem Namen Proportionalitätsversuche zusammen.

Erst diese geben unserer ganzen plasmolytisch-volumetrischen Methode ein festes Fundament. Die Zahl der zur Kontrolle vornehmbaren Bestimmungen des Grades der Plasmolyse kann beliebig groß

---

[1] Diese Bezeichnung soll auch andeuten, daß der auf solchem Weg gefundene osmotische Wert die dem Zellsaft genau isotonische Konzentration des Plasmolytikums angibt, während ja die »eben plasmolysierends Grenzkonzentration« in Wahrheit nicht isotonisch, sondern schon schwach hypertonisch ist.

gewählt werden. Wenn trotzdem überall gleicher Wert für O sich ergibt, so glaube ich darin ein eindeutiges und ausreichendes Kriterium sehen zu dürfen dafür, daß die Methode nicht nur prinzipiell berechtigt ist, sondern daß auch ihrer Anwendbarkeit in der praktischen Ausführung keine unvorhergesehenen Schwierigkeiten entgegenstehen.[1]

Ob diese Proportionalität tatsächlich besteht, läßt sich aber im Experiment untersuchen. Hier werden daher die Versuche des II. experimentellen Hauptteiles dieser Arbeit einsetzen.

* * *

Ich möchte noch hier im allgemeinen Teil die Art der Ablesung und Protokollierung jener folgenden Versuche an einer Abbildung vorführen. Sie soll zugleich die in diesem Paragraphen dargelegten Verhältnisse noch anschaulicher machen.

Fig. 5 stellt schematisch einen Proportionalitätsversuch, und zwar einen mit einer Einzelzelle durchgeführten Stufenversuch vor. Die Zelle sei erst in 0·40 GM, dann in 0·50 GM dann in 0·60 GM Rohrz. jedesmal endgültig plasmolysiert.

Die zur Bestimmung des Grades der Plasmolyse erforderlichen Daten pflege ich in folgender Weise abzulesen.

Ich bringe (Fig. 5) zuerst das Okularmikrometer mit der Längsachse der Zelle zur Deckung, derart, daß der Nullpunkt der Skala (respektive der als Anfangspunkt verwendete Teilstrich) über die Mitte der linken Zellenquerwand zu liegen kommt. Nun wird bestimmt: 1. die innere Zellänge: hier 80′ (Teilstriche). 2. Zwischen welchen Teilstrichen liegt der Protoplast? In Fig. 5 *a* in 0·40 GM Rohrz zwischen $5^1/_2$ und 72. 3. Die Höhe der Menisci: Wir verschieben das Präparat streng rechtwinkelig zur Längsachse, bis die Mikrometerskala über der Längswand der Zelle liegt; jeder Meniskus ist hier 8′ hoch; 4. die innere Zellbreite; sie ist hier $= 20'$.

In den Versuchsprotokollen schreibe ich von diesen 4 Daten die zwei ersten, Zellänge h und Protoplastenlänge l, gleich während der mikroskopischen Beobachtung in Form eines Bruches an. daneben setze ich die Zahlen für die Meniskushöhen und die Zellbreite: zum Beispiel

$$\begin{array}{llll} & l:h & 2m & b \\ 0\cdot 40 \text{ GM Rohrz.} \ldots\ldots & \dfrac{5\frac{1}{2}-72}{80}, & 2\times 8, & 20. \end{array}$$

Die nachträgliche Berechnung geschieht dann nach unserer in § 2 (p. 7 [105]) abgeleiteten Gl. (8)

$$G = \frac{V_p}{V_z} = \frac{l-2\lambda m}{h}. \qquad 8)$$

Ich wiederhole kurz: Damit der Bruch $l:h$ den Grad der Plasmolyse G gebe, müssen nur vom Dividenden l die mit dem verkleinernden »Meniskusfaktor« multiplizierten Meniskushöhen abgezogen werden. Den Meniskusfaktor λ gibt die Tabelle auf p. 7 [105]. Hier ist $\lambda = 0\cdot 4$, da die halbe Zellbreite $r = 10'$, $m:r = 8:10$. Also $l = 5\frac{1}{2} - 72 = 66\frac{1}{2}'$, hievon abzuziehen $2\times 8\times 0\cdot 4 = 6\cdot 4$ $G_{40} = (66\cdot 5 - 6\cdot 4):80 = 60\cdot 1:80 = 0\cdot 75.$ $O_{40} = 0\cdot 75\times 0\cdot 40 = 0\cdot 30$ GM Rohrz.

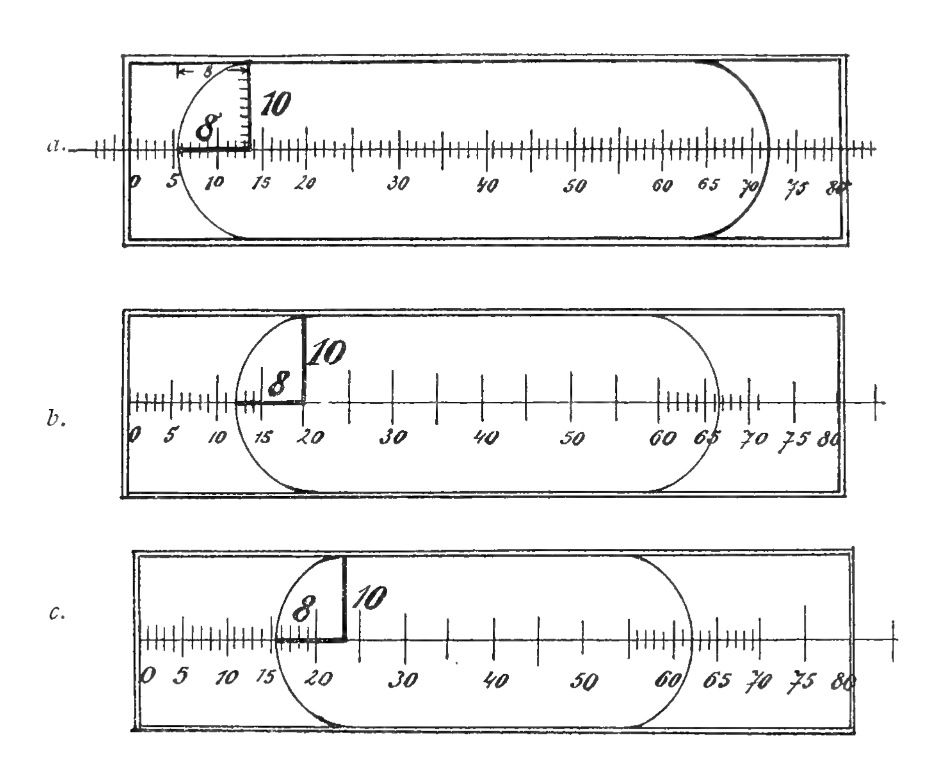
---

[1] Dann folgt auch z. B., daß die in § 1 (p. 3 [101]) erwähnten Abweichungen vom Mariotte-Van't Hoff'schen Gesetz praktisch nicht zur Geltung kommen, resp., daß Zellsaft und Plasmolytikum in gleicher Weise abweichen.

Den Symbolen G und O pflege ich Indices zu geben (G_{40}, O_{40}), die anzeigen, in welcher Außenkonzentration die der Berechnung zugrunde liegende Beobachtung vorgenommen wurde.

Folgende Versuchstabelle enthält die drei in Fig. 5 dargestellten Messungen. Gleich ihr sind sämtliche Tabellen des experimentellen Teiles zu verstehen: Links vom Doppelstrich steht das während der mikroskopischen Beobachtung aufgenommene Protokoll, rechts die nachträgliche Berechnung des Grades.

Fig. 5.



Bestimmung des Grades der Plasmolyse. Dieselbe Zelle, *a* in 0·40 GM, *b* in 0·50 GM, *c* in 0·60 GM Rohrz.; schematisch.

C	$\frac{l}{h}$	$2m$	b	$\frac{l-2\lambda m}{h} = G$	$G \times C = O$
0·40 GM Rohrz.	$\frac{5\frac{1}{2}-72}{80}$	2×8	20	$\frac{66 \cdot 5 - 6 \cdot 4}{80} = 0 \cdot 75$	$0 \cdot 75 \times 0 \cdot 40 = 0 \cdot 30$ GM Rohrz.
0·50 GM »	$\frac{12-66\frac{1}{2}}{80}$	2×8	20	$\frac{54 \cdot 5 - 6 \cdot 4}{80} = 0 \cdot 60$	$0 \cdot 60 \times 0 \cdot 50 = 0 \cdot 30$ GM »
0·60 GM »	$\frac{15\frac{1}{2}-62}{80}$	2×8	20	$\frac{46 \cdot 5 - 6 \cdot 4}{80} = 0 \cdot 50$	$0 \cdot 50 \times 0 \cdot 60 = 0 \cdot 30$ GM »

Das Schema ist so angefertigt, daß die verschiedenen Grade genau auf denselben osmotischen Wert führen. Ist dies in einem wirklichen Versuch der Fall, so spreche ich vom Bestehen vollkommener Proportionalität zwischen den Graden der Plasmolyse.

In § 8 werden wir sehen, wie nahe wirkliche Versuche diesem theoretischen Schema kommen können.

§ 5. Protoplasmakorrektur.

Ehe wir die Proportionalitätsversuche vorführen, müssen wir am Schluß des allgemeinen Teils noch einem prinzipiell wichtigen Umstand gerecht werden, der schon theoretisch gewisse Abweichungen von der im vorigen Paragraph geforderten völligen Proportionalität im Grade der Plasmolyse erwarten lassen wird.

Dem Grundprinzip dieser Arbeit lag eine wichtige vereinfachende Annahme zugrunde: daß der gesamte Protoplast bei der Plasmolyse sein Volumen der Außenkonzentration umgekehrt proportional verkleinere. Tatsächlich verkleinert sich nur der Zellsaftraum, beziehungsweise die Gesamtheit aller Safträume. Das wandständige Protoplasma ändert indes, solange es intakt bleibt, seinen Quellungszustand höchstwahrscheinlich gar nicht, oder wenn, so doch sicher nur in sehr geringem Grade.[1]

Ich darf wohl die Bemerkung einflechten, daß mir dieser Umstand anfangs bei der Aufstellung des Grundprinzips der plasmolytisch-volumetrischen Methode nicht gegenwärtig war. Ich machte vielmehr sehr bald eine experimentelle Erfahrung, und zwar schon bei meinen ältesten Proportionalitätsversuchen, von denen einer im nächsten Paragraph mitgeteilt werden soll. Die erwartete Proportionalität traf bei vielen Objekten nicht völlig ein. Die osmotischen Werte, deren Berechnung die in stärker hypertonischer Lösung beobachteten Grade der Plasmolyse zugrunde gelegt waren, waren fürs selbe Objekt ein wenig höher als die aus schwächeren Lösungen erhaltenen.—

Wir wollen volle Volumkonstanz des Protoplasmas bei der Plasmolyse annehmen. Suchen wir klar zu machen, was für eine Bedeutung sie theoretisch für unsere Berechnungsweise haben würde. Mit andern Worten: Um wie viel wird der durch einfache Multiplikation $C \cdot G$ (Außenkonzentration × Grad) berechnete osmotische Wert vom wahren osmot. Wert abweichen? Diese Differenz bezeichnet die Überschrift dieses Paragraphen als »Protoplasmakorrektur«.—

In einer Zelle mit relativ dünnem plasmatischem Wandbeleg und großer Vakuole erfülle das Protoplasma vor der Plasmolyse zum Beispiel ein Zehntel des Innenraumes der entspannten Zelle, der osmotische Wert des Zellsaftes (den wir noch nicht kennen) sei tatsächlich $= 0 \cdot 30$ GM Rohrz. Wir plasmolysieren die Zelle in $0 \cdot 35$ GM Rohrz.: das Plasma wird, wie wir angenommen haben, sein Volum nicht ändern, dagegen muß sich der Zellsaftraum, der $\frac{9}{10}$ der Zelle einnimmt, auf $\frac{30}{35} = \frac{6}{7}$ seines Anfangsvolums verkleinern. Somit ist der theoretisch zu erwartende Grad der Plasmolyse in $0 \cdot 35$ GM Rohrz.:

$$G_{35} = 0 \cdot 90 \times \frac{6}{7} \text{ (der Zellsaftraum)} + 0 \cdot 10 \text{ (das Protoplasma)} = 0 \cdot 77_{11} + 0 \cdot 10 = 0 \cdot 87_{11}.$$

Wenn wir diesen Grad beobachten und der gewohnten Berechnung zugrunde legen, so erhalten wir für den osmot. Wert

$$O_{35} = 0 \cdot 87_{11} \times 0 \cdot 35 = 0 \cdot 30_{50} \text{ GM},$$

somit einen etwas zu hohen Wert, da ja der wahre osmot. Wert $O = 0 \cdot 30$ GM ist.

Für die Plasmolyse in $0 \cdot 40$ GM Rohrz. ist die Abweichung schon doppelt so groß, wie aus einer analogen Überlegung folgt:

$$G_{40} = 0 \cdot 90 \times \frac{3}{4} + 0 \cdot 10 = 0 \cdot 67_5 + 0 \cdot 10 = 0 \cdot 77_5$$

$$O_{40} = 0 \cdot 77_5 \times 0 \cdot 40 = 0 \cdot 31_0 \text{ GM}.$$

---

[1] Lepeschkin (1910, p. 102, 384), findet, daß dem Plasma durch bloßes Plasmolysieren kein Wasser entzogen wird.

Der Unterschied zwischen dem wahren osmotischen Wert und dem ohne Rücksichtnahme auf den protoplasmatischen Anteil errechneten wächst, wie leicht ersichtlich, proportional der Differenz zwischen dem osmotischen Wert der plasmolysierenden Außenlösung und dem wahren osmotischen Wert der unplasmolysierten Zelle; er wird umso größer, je stärker wir die plasmol. Lösung wählen. Er wird außerdem umso größer, je plasmareicher die Zelle ist.

Im folgenden die allgemeine Formulierung:

Wir bezeichnen den Anteil des Protoplasmas am Innenraum der entspannten Zelle als klein p und den wahren osmotischen Wert der Zelle als O ohne Index; hingegen ist wie bisher C die osmotische Konzentration der plasmol. Außenlösung, G_C der in ihr erreichte Grad der Plasmolyse, O_C — mit Index — der aus diesem Grad errechnete osmot. Wert, ohne Korrektur bezüglich des Protoplasmas. Wir wollen die Größe der Differenz $O_C—O$ bestimmen: $O_C—O$ sei als ΔO bezeichnet.

Im obigen Beispiel hat die Plasmolyse in der Außenlösung C (0·35 GM Rohrz.) folgenden Grad erreicht:

$$G_C = (1-p)\,\frac{O}{C} + p,$$

wo $(1-p)$ dem Volumanteil des Zellsaftraumes, p demjenigen des Protoplasmas am unplasmolysierten (turgorlosen) Gesamtprotoplasten entspricht.

Die Berechnung des osmotischen Wertes ergab:

$$\begin{aligned} O_C &= G_C \cdot C \\ &= (1-p) \cdot O + p \cdot C \\ &= p\ (C-O) + O. \end{aligned}$$

Für die Protoplasmakorrektur folgt also:

$$\Delta O = O_C - O = p\ (C-O) \qquad 13)$$

Die Abweichung der gefundenen von den wahren osmotischen Werten ist direkt proportional 1. dem Volumanteil des Protoplasmas am Zellraum und 2. der osmotischen Konzentrationsdifferenz zwischen Plasmolytikum und Zellsaft.

Der Anteil des Protoplasmas p wird sich freilich im allgemeinen nicht genau bestimmen lassen. Wenn aber die Erwartung, die wir uns aus der vorstehenden Überlegung bildeten, im Experiment ihre volle Bestätigung finden sollte, dann müßten die in Lösungen steigender Konzentration (bei gleichen Konzentrationsdifferenzen) gefundenen osmotischen Werte derselben Zelle eine arithmetische Reihe bilden. Im obigen Beispiel beim wahren osmotischen Wert $O = 0 \cdot 30$ Rohrz.

$$O_{35} = 0 \cdot 30_5, \quad O_{40} = 0 \cdot 31_0, \quad O_{45} = 0 \cdot 31_5, \quad O_{50} = 0 \cdot 32_0 \ldots$$

Aus diesen Werten folgt dann offenbar der wahre osmotische Wert durch Verlängerung der Reihe nach unten. Er ergibt sich theoretisch auch schon aus je zweien der Werte nach der Proportion

$$(O_{C_2} - O_{C_1}) : (O_{C_2} - O) = (C_2 - C_1) : C_2 - O),$$

wo O ohne Index, der wahre osmotische Wert, die Unbekannte ist; im letzten Beispiel:

$$(O_{50} - O_{40}) : (O_{50} - O) = (0 \cdot 50 - 0 \cdot 40) : (0 \cdot 50 - O)$$
$$(0 \cdot 32 - 0 \cdot 31) : (0 \cdot 32 - O) = 0 \cdot 1 : (0 \cdot 50 - O).$$

Es folgt $O = 0 \cdot 30$. Je mehr Werte, desto besser die Bestätigung.

Anderseits ließe sich nach Gl. (13) auch die Größe p, der Volumanteil des Protoplasmas am unplasmolysierten Protoplasten, bestimmen:

$$p = \frac{O_{C_2} - O_{C_1}}{C_2 - C_1} \text{ usw.} \ldots\ldots \qquad 14)$$

Wäre eine Zelle noch reicher an Protoplasma, z. B. der Anteil desselben (mit Ausschluß aller Safträume) am unplasmol. Volum $= \frac{1}{4}$, so lägen die einzelnen unkorrigierten osmotischen Werte für dieselbe Zelle schon sehr weit auseinander.

Für eine Zelle vom wahren osmot. Wert 0·30 GM Rohrz. wäre nach Gl. (13) offenbar

$$O_{35} = 0 \cdot 31_{25}, \quad O_{40} = 0 \cdot 32_{5} \ldots\ldots O_{60} = 0 \cdot 37_{5}.$$

So ganz unbrauchbare Resultate würden also hier unsere Methode bei Betrachtung starker Plasmolysen in hochhypertonischen Lösungen geben ohne Berücksichtigung der in diesem Paragraphen dargelegten Verhältnisse.

Ich muß gleich bemerken, daß mir mitteilbare Proportionalitätsversuche mit so protoplasmareichen Zellen noch nicht zur Verfügung stehen. Es wird aber vielleicht nicht uninteressant sein, auch solche vergleichende Versuche vorzunehmen, und es liegt auf der Hand, daß auch für die hier gemachte Voraussetzung — daß der Quellungszustand des Protoplasmas bei der Plasmolyse (zumindest solange der Protoplast intakt ist) keine, auch gar keine Änderung erfährt — sich ein neuer, im Fall der Bestätigung beweiskräftiger Weg der Prüfung bietet. Dies besonders, wenn Zellen als Material verwendet würden, in denen der Anteil des Protoplasmas p auch im Voraus durch Messung ermittelt werden kann.

In der Literatur finde ich nur eine hieher bezügliche Angabe. Lepeschkin (1909, p. 140) bemerkt, daß die plasmolysierten Protoplaste von *Spyrogyra* ihr Volum nicht genau umgekehrt proportional der Außenkonzentration ändern — wie ich vermute, eben wegen der Volumkonstanz des protoplasmatischen Anteils.

* * *

Hiemit bin ich am Ende der allgemeinen Ausführungen angelangt. Zum Abschluß möchte ich noch die quantitativen Betrachtungen über das Phänomen der Plasmolyse zu einer analytischen Formulierung zusammenfassen. Der Grad endgültiger Plasmolyse hängt ab von der Konzentration des Plasmolytikums. Der einfachste Fall ist der unserer Grundgleichung (10)

$$G = \frac{O}{C}.$$

Wenn wir die funktionale Beziehung zwischen G und C graphisch zum Ausdruck bringen wollen in einem Koordinatensystem, in dem wir die plasmolysierenden Konzentrationen C als Abszissen, die in ihnen erreichten Grade G als zugehörige Ordinaten eintragen, so verbindet nach Gl. (10) ein Hyperbel-Bogen die G-Werte.

Die Berücksichtigung des beim Plasmolysieren unveränderten Wandprotoplasmas führt zur modifizierten Funktion

$$G = (1-p)\frac{O}{C} + p = \frac{O}{C} + \left(1 - \frac{O}{C}\right) p \ldots \quad 15)$$

wo p wieder der Anteil des Protoplasmas am Gesamtvolum der entspannten Zelle ist. Gl. (10) ist als Spezialfall enthalten, wenn p sehr klein wird.

In die analytische Darstellung ließe sich auch die interessante Frage nach dem Gültigkeitsbereich des Gesetzes der proportionalen Plasmolyse zum Ausdruck bringen. Jedes Objekt wird sich nur bis zu einem gewissen Grad $\left(\text{zum Beispiel bis auf } \frac{1}{5}\right)$ proportional plasmolysieren lassen, bei noch stärkerer Wasserentziehung werden endlich Abweichungen (etwa durch Ausfallen gelöster Zellsaftstoffe oder Schädigung durch allzustarke Konzentrierung) auftreten. Wir werden sehen, daß auch nahe dem

Punkte $G = 1$, also für den Bereich ganz schwacher »Grenzplasmolyse«, Abweichungen vorkommen, wahrscheinlich infolge der Adhäsion des Protoplasmas an der Zellwand.

Unserer Betrachtungsweise ließen sich endlich noch die Erscheinungen an turgeszenten Zellen einfügen. Der Grad $G = 1$ entspricht der unplasmolysierten, entspannten, in genau isotonischer Außenlösung befindlichen Zelle. In hypotonischer Außenlösung oder reinem Lösungsmittel kann der Protoplast, wie bekannt, weiter H_2O aufnehmen und die Zellwand dehnen. Dem entsprechen (mit einer kleinen Begriffserweiterung) Werte für G, größer als 1. Jetzt ist G der Grad der Turgordehnung. In der turgeszenten Zelle hängt aber ja die Protoplastengröße außer von der Außenkonzentration in erster Linie von der Größe des elastischen Gegendruckes der gespannten Zellwand ab. Ursprung und Blum (1916*d*, p. 530 f.) haben die einschlägigen Verhältnisse jüngst zum erstenmal methodisch untersucht. Sie finden die Turgordehnung und den Wanddruck in hypotonischer Außenlösung und in H_2O innerhalb der Fehlergrenzen direkt proportional der osmotischen Wertdifferenz zwischen Zelle und Außenmedium.[1]

Die Erscheinungen an turgeszenten Zellen sollen uns in dieser Arbeit nicht beschäftigen. Die Protoplasmakorrektur aber wird künftig auch für die übliche Berechnung des osmotischen Wertes der turgeszenten Zelle aus dem Wert der entspannten Zelle und dem Maß der Turgordehnung, wo es sich um größere Genauigkeit handelt, zu berücksichtigen sein.

II. Experimenteller Teil.

§ 6. Ausgangspunkt der Untersuchungen.

Den Anlaß zur Ausarbeitung der plasmolytisch-volumetrischen Methode haben mir Erfahrungen gegeben, die ich beim Arbeiten mit der De Vries'schen grenzplasmolytischen Methode gesammelt habe.

Auf Anregung meines hochverehrten Lehrers, Herrn Prof. Dr. Hans Molisch, beschäftigte ich mich seit dem Frühjahr 1914 mit osmotischen Größenbestimmungen nach der plasmolytischen Methode. Es war anfangs meine Absicht, zur Kenntnis der Verteilung der osmotischen Werte in der Pflanze Beiträge zu liefern. — Seit dem März 1916 erschienen von Ursprung und Blum umfassende, seit Jahren systematisch durchgeführte Untersuchungen über denselben Gegenstand (1916*a*—*c*, Blum 1917); in Anbetracht dessen darf ich für jetzt von einer Mitteilung meiner ersten diesbezüglichen Ergebnisse aus den Jahren 1914 und 1915 wohl absehen.

Meine Versuche machten mich mit einer großen Zahl verschiedener Objekte bekannt. Dem Wesen des Themas gemäß war mein Ziel stets möglichst genaue Bestimmung des osmotischen Wertes. Da überzeugte ich mich aber bald — gleich vielen Beobachtern vor mir — von den Mängeln der grenzplasmolytischen Methode. Während die für genaue Messung besonders geeigneten Gewebe, wie die Epidermis von *Rhoeo discolor, Curcuma, Begonia,* die De Vries als »Indikatorgewebe« bezeichnet hat, sich dadurch hervortun, daß bei einer Konzentrationsdifferenz von nur 0·01—0·02 GM KNO_3 alle Zellen von unplasmolytischen in den plasmolysierten Zustand übergehen, bedarf es zum gleichen Zweck bei »gewöhnlichen« Objekten weit größerer Abstände benachbarter Lösungen. Sehr oft sind Differenzen von 0·05—0·10 GM nötig. Doch selbst da verhalten sich nicht immer alle gleichartigen Zellen eines Gewebes gleich.

Man hilft sich bekanntlich damit, daß man diejenige Außenkonzentration als isotonische »Grenzkonzentration« anzusehen pflegt, wo schätzungsweise eben die Hälfte der Zellen eben merkliche Plasmolyse zeigt. Man rechtfertigt allgemein dieses Vorgehen mit folgender Anschauung: Das verschiedene Verhalten der gleichen Zellen habe seinen Grund in deren verschiedenem osmotischem Wert. Ist eine

[1] So würde sich in der graphischen Darstellung der Abhängigkeit zwischen C und G der Hyperbelbogen links vom Punkt $G = 1$ fortsetzen als Gerade, die von $C = O$ bis $C = 0$ schwach nach links ansteigt.

Zelle plasmolysiert, eine benachbarte nicht, dann folge daraus unmittelbar, daß die letztere höheren osmotischen Wert habe. Die Indikatorgewebe seien ausgezeichnet durch ungewöhnlich wetigehende osmotische Übereinstimmung der Elemente, welche den meisten anderen Geweben mangle. Dort gebe die Grenzkonzentration »Mittelwerte« an.

Nun machte ich an vielen Objekten die Wahrnehmung, daß in stärker hypertonischen Lösungen der Grad der Plasmolyse viel gleichmäßiger ist als gerade in der eben plasmolysierenden Grenzlösung und den dieser nahegelegenen Konzentrationen, wo ja so oft plasmolytische und unplasmolysierte Zellen regellos durcheinander liegen.

Diese Beobachtung brachte mich auf den Grundgedanken vorliegender Arbeit: osmotische Wertbestimmung nach dem Maß der Volumverkleinerung stark plasmolysierter Protoplaste, unabhängig vom Phänomen der Grenzplasmolyse. — Versuche mußten entscheiden, ob er als Grundlage einer Methode sich eigne oder ob nicht etwa Faktoren unbekannter Art die plasmolytischen Erscheinungen in stark hypertonischer Außenlösung beeinflussen. Als Kriterium für die Brauchbarkeit einer solchen Methode diente mir, wie im allgemeinen Teil ausgeführt, das Maß der Übereinstimmung der aus verschieden starken Graden der Plasmolyse unabhängig berechneten osmotischen Werte, die »Proportionalität im Grade der Plasmolyse«.

Unter etwa 60 Freilandpflanzen, deren »Salpeterwerte« ich im Sommer 1914 grenzplasmolytisch bestimmt habe, begegnete mir ein für solche Versuche außerordentlich günstiges Gewebe mit schönen langzylindrischen Zellen in der violetten Stengelepidermis von *Gentiana Sturmiana* Kern. Mit diesem Objekte habe ich die ersten messenden Versuche angestellt. Ich beschränkte mich anfangs nicht auf rein zylindrische Zellen von gleichmäßiger Breite. Aus den Mikrometermessungen berechnete ich in langwieriger Weise und mit ziemlichem Aufwand stereometrischer Formeln die Volumina der Protoplaste, die Innenvolumina der Zellen und das Verhältnis beider (den »Grad der Plasmolyse«, wie wir jetzt sagen). Von der Mitteilung jener wenig übersichtlichen ersten Versuchsprotokolle und Berechnungen darf ich wohl absehen. Ich führe nur die Resultate eines solchen Versuches, die für die Einzelzellen ermittelten Grade, an.

Versuch 1. 16./IX. 1914.

Ramsau bei Schladming, Steiermark (1100 *m* Meereshöhe), Versuchspfl. *Gentiana Sturmiana* Kern.,[1] frische Freilandpflanze. Frisch bereitete volumnormale KNO_3-Lösungen, Abstand benachbarter Lösungen 0·05 GM. — Benachbarte Flächenschnitte aus der Mitte der Stengelseiten und halber Stämmchenhöhe kamen in 0·30, 0·35, 0·40, 0·45, 0·50 GM KNO_3. Als »Grenzlösung« war in Vorversuchen 0·35 GM KNO_3 ermittelt worden. Dauer der Plasmolyse 1½ bis 2 Stunden.

0·30 GM KNO_3 : —, nirgends Plasmolyse,

0·35 GM KNO_3 : (in einem Teil des Präparats) 17 Zellen +, 2 ganz schwach +, 8 Zellen —. Erreichte Grade G = 0·900, 0·911, 0·953, 0·930, 0·900, 0·965, 0·929; Mittelwert G_{35} = 0·921.

0·40 GM KNO_3 : alle Zellen +. G = 0·867, 0·823, 0·786, 0·778, 0·793, 0·856, 0·806, 0·829, 0·841, 0·777; G_{40} = 0·816.

0·45 GM KNO_3 : G = 0·760, 0·790, 0·739, 0·722, 0·750, 0·715, 0·706, 0·788, 0·725; G_{45} = 0·741.

0·50 GM KNO_3 : G = 0·667, 0·681, 0·702, 0·689, 0·688, 0·652, 0·683, 0·720, 0·715; G_{50} = 0·688.

Was hier zunächst das Maß der Übereinstimmung des osmotischen Wertes in gleichen Zellen eines Epidermisschnittes betrifft, so erwies sich diese in zahlreichen im Jahre 1915 angestellten Versuchen als tatsächlich noch größer.

Plasmolysiert wurde jetzt mit KNO_3 und Rohrzucker. Für die Messungen dienten nur mehr reinzylindrische Zellen und die Berechnung geschah in der im allgemeinen Teil beschriebenen einfachen und zuverlässigen Weise. In Versuch 1 waren die größeren Unterschiede benachbarter Zellen wohl zum Teil durch die mangelhafte Berechnungsweise vorgetäuscht.

---

[1] *Gentiana Sturmiana* A. et J. Kerner repräsentiert in der Ramsau (nördliche Kalkalpen) die als *Gentiana germanica* Willd. s. l. bekannte, richtiger mit dem Sammelnamen *Gentiana polymorpha* Wettst. zu bezeichnende Artengruppe lilablütiger Enziane (vgl. Wettstein, R. v., Die europäischen Arten der Gattung *Gentiana* aus der Sektion *Endotricha* Froel. und ihr entwicklungsgeschichtlicher Zusammenhang. Diese Denkschriften, Bd. LXIV, 1896, bes. p. 25, 65 des Sep.). Für die Bestimmung sage ich Herrn Hofrat Ritter v. Wettstein meinen schönsten Dank. — Die anthokyanreiche Stengelepidermis und die Korollröhre von *Gentiana polymorpha* gehören zu den schönsten Demonstrationsobjekten für Plasmolyseversuche, die ich kenne.

Die folgenden Versuche sind Beispiele aus vielen. Die Protokolle, die schon den in Paragraph 8 mitgeteilten gleichen, lasse ich auch hier im Interesse der Kürze weg.

Versuch 2. 5. X. 1915.

Ramsau bei Schladming. *Gentiana Sturmiana*, Stengelepidermis. Pflanze von einem feuchteren Standort als in Versuch 1, absoluter osmot. Wert niederer.

0·60 GM Rohrz.: erreichte Grade G = 0·68, 0·675, 0·675, 0·66, 0·68, 0·68, (0·72),[1] 0·70, 0·68, (0·71);[1] $G_{60} = 0·68$.

Versuch 3. Ramsau, *G. Sturmiana.* 4. X. 1915.

0·60 GM. Rohrz.: G = 0·82, 0·83, 0·80, 0·81, 0·84, 0·80, 0·82, 0·81, 0·81, 0·80, 0·80; $G_{69} = 0·812$.

Versuch 4.[2] 7. X. 1915.

Ramsau, *Gentiana Sturmiana*, kräftige Pflanze, 17 *cm* hoch, Epidermisschnitte aus der Mitte der Stengelseiten, 9 *cm* hoch.

0·40 GM Rohrz.: —, keine Plasmolyse.

0·45 GM Rohrz.: in den meisten intakten Zellen keine Pl.; wenige +, G = 0·945, 0·94.

0·50 GM Rohrz.: G = 0·865, 0·82, 0·82, 0·83, 0·83, 0·86, 0·84, 0·83, 0·855; $G_{50} = 0·840$.

0·55 GM Rohrz.: G = 0·795, 0·80, 0·80, 0·795, 0·795, 0·785, 0·80, 0·81, 0·77, 0·81; $G_{55} = 0·796$.

0·60 GM Rohrz.: G = 0·76, 0·73, 0·745, 0·74, (0·78), 0·755, 0·745, 0·75, 0·74, 0·74; $G_{60} = 0·748$.

Schon die hier ermittelten Grade der Plasmolyse weisen auf einige wichtige Tatsachen hin.

1. Bei einer Konzentrationsdifferenz von 0·05 GM KNO_3 und Rohrzucker zwischen benachbarten Lösungen zeigen bei zuverlässiger Berechnung die s t ä r k s t plasmolysierten Zellen in jeder Lösung doch noch schwächere Plasmolyse als die s c h w ä c h s t plasmolysierten in der nächst stärkeren Lösung.

2. Wir berechnen im Vorversuch 1 die Mittelwerte für *G* (der Index nennt die Konzentration der plasmol. Lösungen) und aus diesem nach dem Prinzip unserer Methode die osmotischen Werte *O*, als KNO_3-Konzentrationen ausgedrückt.

$$G_{35} = 0·921, \quad O_{35} = 0·921 \times 0·35 = 0·322 \text{ GM } KNO_3$$
$$G_{40} = 0·816, \quad O_{40} = 0·816 \times 0·40 = 0·326 \text{ GM } KNO_3$$
$$G_{45} = 0·741, \quad O_{45} = 0·741 \times 0·45 = 0·335 \text{ GM } KNO_3$$
$$G_{50} = 0·688, \quad O_{50} = 0·688 \times 0·50 = 0·341 \text{ GM } KNO_3.$$

D i e Ü b e r e i n s t i m m u n g d e r o s m o t i s c h e n W e r t e w a r f ü r V o r v e r s u c h e d u r c h a u s e r m u t i g e n d. Sie übertraf fast meine Erwartungen. Die aus den stärker plasmolysierten Präparaten berechneten osmot. Werte fielen durchaus e t w a s h ö h e r aus als die aus schwächeren Lösungen gewonnenen. Diese Erscheinung war anfangs überraschend (denn der etwas kleinere Ionisationsgrad der konzentrierten KNO_3-Lösungen, an den man zunächst denken könnte, kann der Größenordnung nach bei weitem nicht verantwortlich gemacht werden). Heute sehe ich die Ursache, wie im letzten Abschnitt des allgemeinen Teils ausführlich dargetan, im Einfluß der protoplasmatischen Wandschichte. Die Versuche mit Rohrzucker zeigen dasselbe Verhalten (also ist auch die Durchlässigkeit für KNO_3 nicht schuld).

Im Versuch 4 ist:

$$G_{50} = 0·840, \quad O_{50} = 0·840 \times 0·50 = 0·420 \text{ GM Rohrz.}$$
$$G_{55} = 0·796, \quad O_{55} = 0·796 \times 0·55 = 0·438 \text{ GM Rohrz.}$$
$$G_{60} = 0·748, \quad O_{60} = 0·748 \times 0·60 = 0·449 \text{ GM Rohrz.}$$

---

[1] Hier berührte der Protoplast die eine Zellquerwand.

[2] Die Versuche 2 bis 4 sind Stücke aus Versuchen über die Verteilung des osmotischen Wertes in Pflanzen.

Die osmotischen Werte bilden auch hier eine aufsteigende Reihe.

Ich bemerke, daß ich Gleiches auch an zahlreichen anderen Objekten gefunden habe. Da ich aber in der Folge keine Gelegenheit mehr haben werde, solche mit protoplasmareichen Zellen vorgenommene Proportionalitätsversuche vorzuführen, so mögen Versuch 1 und 4 für jetzt als Beispiel für die nach § 5 zu erwartende Abweichung von der Proportionalität genügen.

3. In Versuch 1 sind in 0·35 GM KNO_3, der plasmol. Grenzlösung, 17 Zellen plasmolytisch, 2 Zellen ganz schwach und 8 Zellen, ziemlich regellos zwischen den andern verteilt, gar nicht plasmolysiert. Man würde nach der herrschenden Anschauung annehmen müssen, daß die osmotischen Werte dieser 8 Zellen höher als 0·35 GM sind. Dagegen spricht nun schon die viel größere Gleichmäßigkeit der Plasmolyse in den gleichen, stärker plasmolysierten Schnitten. Noch auffallender ist der Rohrzuckerversuch 4: Bei 0·45 GM ist in den meisten Zellen gar keine, in 0·50 GM in allen starke Plasmolyse. Darnach müßte man die Grenzlösung bei 0·50, oder eventuell bei 0·47₅, suchen. Nun ergeben aber die Grade der Plasmolyse in den stärkeren Konzentrationen zweifellos einen osmot. Wert unter 0·45 GM. In 0·50 GM ist $G = 0{\cdot}84$, der osmot. Wert also 0·42 (und nach den Überlegungen des § 5 werden wir den wahren osmot. Wert eher noch tiefer, bei 0·40 bis 0·41 GM, ansetzen müssen).

Diese Umstände machen es schon in hohem Maße wahrscheinlich, daß an dem Ausbleiben der Plasmolyse in jenen 8 Zellen in 0·35 GM KNO_3 und in den meisten Zellen in 0·45 GM Rohrz. nicht ihr abweichend hoher osmot. Wert schuld sei, sondern Faktoren anderer Art. Als solche störende, äußere Faktoren kommen etwa in Betracht: 1. mangelndes Eindringen der Lösungen durch die Zellwand, 2. Adhäsion des Protoplasten an der Zellwand. Für die Annahme des letztgenannten Faktors spricht Folgendes: Wir können uns wohl vorstellen, daß ein schwacher »osmotischer Überdruck« von Seiten der Außenlösung zur Überwindung der Adhäsion nicht genügt, ein stärkerer indes wohl ausreicht; während kein Grund vorliegt anzunehmen, daß schwächere Lösungen die Zellwände schwerer als stärkere passieren sollten. Wir sehen in den Versuchen aber Unregelmäßigkeiten im Eintritt der Plasmolyse nur in den schwach hypertonischen Lösungen.

So wird schon jetzt wahrscheinlich, daß das ungleiche Verhalten gleicher Zellen solcher Gewebe die keine Indikatorgewebe sind, in schwach hypertonischen Lösungen und die daraus erwachsende Schwierigkeit einer genauen Bestimmung der plasmolytischen Grenzkonzentration begründet ist: meist nicht in entsprechend großen Unterschieden der osmotischen Werte dieser Zellen, sondern vorzüglich in der Adhäsion des Protoplasma an der Zellwand; ob diese überwunden wird oder nicht, darüber entscheiden möglicher Weise nur Zufälligkeiten im Eindringen des Plasmolytikums.

Den Beweis dieser Annahme werden erst »Stufenversuche« erbringen können (neben direkter Beobachtung über schwieriges Ablösen des Protoplasten bei der Plasmolyse). Es wäre zu zeigen, daß dieselben Zellindividuen, die in der Grenzlösung und in schwach hypertonischen Lösungen, abweichend von ihren Nachbarn, unplasmolysiert geblieben sind, nach dem Übertragen in stärkere Lösungen solche Grade der Plasmolyse erreichen, die auf einen ursprünglichen osmotischen Wert, geringer als jene Grenzlösung, schließen lassen (vgl. § 9*e*).

Als ein wichtiger Vorteil der plasmolytisch-volumetrischen Methode ergibt sich nun schon der, daß sie durch die Möglichkeit der Betrachtung stärkerer Grade der Plasmolyse von dem durch die Adhäsion bedingten Fehler unabhängig macht. —

Ich übergehe alle weiteren, während der Ausarbeitung der Methode im Jahre 1915 angestellten Versuche und wende mich gleich zur Vorführung einer kleinen Auswahl von Proportionalitätsversuchen, die bei einer — zunächst zu schildernden — endgültigen und möglichst sorgfältigen Versuchsanstellung durchgeführt worden sind.

§ 7. Einzelheiten der Versuchsanstellung.

In folgenden soll das Wichtigste über die Bereitung der plasmolytischen Lösungen und Herstellung und mikroskopische Untersuchung der Präparate zusammengestellt werden. Die von Fitting in seinen »Untersuchungen über die Aufnahme von Salzen in die lebende Zelle«[1] bezüglich der plasmolytischen Methodik gewonnenen Gesichtspunkte habe ich durchwegs beobachtet.

Herstellung der Normallösungen: Alle Lösungen wurden volumnormal, durch Lösen der abgewogenen Substanzmenge zur Volumeinheit Lösung bereitet.[2] Rohrzucker und Salpeter habe ich stets in reinsten Kahlbaumpräparaten (pro analysi, in plombierten Originalpackungen) verwendet.

Für alle Versuche, wo absolute osmot. Werte gemessen werden sollten, dienten Rohrzuckerlösungen als Plasmolytikum Deren Herstellung und Verdünnung erfolgte in gewohnter Weise. Trotzdem möchte ich den Vorgang, der sich mir schließlich am besten bewährte, kurz im Einzelnen beschreiben. Die Vorsichtsmaßregeln hatten — neben Erreichung möglichster Genauigkeit der Konzentration — den Zweck, Infektion der Zuckerlösungen durch Mikroorganismen (Hefe) möglichst lange hintanzuhalten.

Ich bereite meist je 200 cm^3 Normallösung. Die zerkleinerte und abgewogene Substanzmenge $\left(\text{für Rohrz.}\ \frac{1}{5}\ \text{GM} = 68\cdot44\,g\right)$ wurde in einem Becherglas in etwa 100 bis 120 cm^3 heißem, zuvor aufgekochtem dest. H_2O unter beständigem Umrühren mit einem Kautschukglasstab gelöst. Die Lösung hatte etwa $\frac{3}{4}$ vom endgültig gewünschten Volum. Sie wurde aufgekocht und sodann noch heiß in einen langhalsigen geeichten 200 cm^3-Meßkolben mit Glasstoppel, der zuvor mit etwas heißem H_2O vorgespült war, filtriert; dies ist auch bei reinsten Saccharosepräparaten zur Entfernung der Fasern nötig. Becherglas, Glasstab, Filter und Trichter wurden darauf sorgfältig mit aufgekochtem H_2O nachgespült und dieses mit der Lösung im Kolben vereinigt. Auch jetzt noch mußte die Flüssigkeit so weit von der Marke entfernt sein, daß sie nun im Meßkolben nochmals ohne überzuspritzen aufgekocht werden konnte. Nachdem dies geschehen, wurde heißes Wasser bis über die Marke aufgefüllt, so zwar, daß sich der Spiegel nach dem Abkühlen etwas unter der Marke einstellte. Der Stopfen blieb während des Abkühlens lose geschlossen. Die kalte Lösung wurde zuletzt mit einigen Tropfen H_2O bis genau zur Marke aufgefüllt, kräftig durchgeschüttelt und stehen gelassen, bis alle Schlierenbildung aufgehört hatte.

Hie und da bereitete ich auch gleich halbnormale Ausgangslösungen.

Die in solcher Weise hergestellten Stammlösungen blieben zuverlässig einige Tage unverändert. Sie konnten etwa zweimal, sogleich nach dem Fertigstellen und 2 bis 3 Tage später, zur Bereitung der Gebrauchslösungen dienen. — Auch diese letzteren steril zu erhalten, erwies sich hingegen als fast undurchführbar. Zumindest wäre konsequentes steriles Arbeiten mit größerem Zeitaufwand verbunden gewesen als neuerliches Herstellen nach zwei Tagen. Ein Zusatz desinfizierender Stoffe (Kaliumbichromat) zu den plasmolysierenden Lösungen aber war für meine Zwecke natürlich zunächst ausgeschlossen.

Verdünnung, Meßgefäße: Die Gebrauchslösungen wurden, wie üblich, aus der Stammlösung durch volumetrische Verdünnung mit H_2O hergestellt; von jeder Konzentration bereitete ich meist 50 bis 70 cm^3. Zur Aufnahme dienten festschließende breithalsige Glasstöpselfläschchen (»Pulvergläschen«) von etwa 75 cm^3 Inhalt.

Zur Volummessung verwendete ich nicht Titrierröhren, sondern einerseits geeichte Vollpipetten zu 10, 20, 30 cm^3, andererseits zwei dünne, auf Zehntel cm^3 geteilte Meßröhren (mit blauem Emailstreifen) zu 10 cm^3. Wollte ich zum Beispiel 60 cm^3 einer 0·40 GM Rohrz.-Lösung (36 cm^3 H_2O + 24 cm^3 Normallösung) bereiten, so brachte ich in das Fläschchen erst mit der Vollpipette 30, dann mit der Meßröhre 6 cm^3 H_2O, hiezu dann ebenso 20 + 4 cm^3 N-Lösung.

Meist hatte ich auf einmal eine Serie verschiedener Konzentrationen herzustellen, von denen ich, entsprechend den jeweils für die nächsten Tage geplanten Versuchen, verschiedene Mengen brauchte. Zum Zweck der Zeitökonomie verfertigte ich mir da kleine Tabellen, z. B.:

---

[1] 1915, l. c., bes. p. 4 bis 8.

[2] Renner hat im Jahre 1912 darauf aufmerksam gemacht, daß in Morses direkten Messungen des physikalischen osmotischen Druckes gewichtsnormale (d. h. durch Lösen der Substanzmenge im Liter H_2O bereitete) Rohrzuckerlösungen verwendet worden waren und daß solche den Vergleich mit kryoskopischen Werten besser zulassen; er empfielt aber mit Recht (p. 494), trotzdem fürs plasmolytische Arbeiten die volumnormalen Lösungen beizubehalten. Die Umrechnung der Konzentrationswerte aus einem Maß ins andere kann, wenn man sie wünscht, leicht nachträglich geschehen (vgl. die übersichtliche Tabelle bei Ursprung und Blum, 1916 *d*, p. 533). — Daß für unsere plasmolytisch-volumetrische Methode nur volumnormale Lösungen in Betracht kommen können, liegt auf der Hand. Man müßte sie einführen, wenn sie nicht glücklicherweise ohnedies die üblichen wären!

GM	Rohrz. N-Lös.	H_2O		GM	Rohrz. N-Lös.	H_2O	
0·20 :	10 *cm*³	+ 40 *cm*³	= 50*cm*³	0·40 :	24 *cm*³	+ 36 *cm*³	= 60 *cm*³
0·25 :	17·5	+ 52·5	= 70	0·50 :	20	+ 20	= 40
0·30 :	21	+ 49	= 70	0·60 :	24	+ 16	= 40
0·35 :	21	+ 39	= 60				

Ich brachte in die mit Fettstift bezeichneten Pulvergläschen zuerst mit Vollpipetten alle durch die Zehnerstellen angegebenen Mengen H_2O (also je 10, 20, 30...*cm*³), sodann mit der Meßröhre die den Einerstellen entsprechende Anzahl Kubikzenti meter; hierauf mit getrockneten Instrumenten entsprechend die Zehner und Einer *cm*³ N-Lösung. Die Fläschchen wurden möglichst kurz geöffnet.

Dadurch, daß jedes Volum in zwei Portionen gemessen wurde, scheint der Messungsfehler vergrößert zu werden. Tatsächlich war indes bei sorgfältigem Arbeiten jeder Ablesungsfehler bei den dünnen Röhren wohl weit kleiner als die Hälfte von dem Fehler, der entstanden wäre bei Verwendung von Titrierbüretten solcher Dimensionen, daß die gewünschten Volumina auf einmal hätten gemessen werden können. Vollpipetten und Meßröhren sind ferner bequemer zu handhaben und — dies ist der Hauptgrund, warum ich ihnen den Vorzug gebe — viel sicherer und leichter rein von Hefe und Schimmelpilzen zu erhalten.

Der Ablesungsfehler betrug im ganzen kaum mehr als $\frac{1}{40}$ *cm*³. Das entspricht im ungünstigen Fall z. B. bei Herstellung von 50 *cm*³ 0·50 GM aus N-Lösung einem Verdünnungsfehler = ± 0·0005 GM, bei Bereitung von 70 *cm*³ 0·30 GM einem Fehler = ± 0·00036 GM. Dieser Fehler ist nur für die Beurteilung der genauesten plasmolytisch-volumetrischen Resultate nicht ganz zu vernachlässigen. Der wahrscheinliche Fehler ist weit kleiner.

Die Konzentrationsdifferenz benachbarter Lösungen betrug meist 0·05 GM Rohrz. Wo ich Lösungen von nur 0·01 GM Abstand brauchte, wie beispielsweise im Versuch 18 und 19 solche von 0·26, 0·27, 0·28 GM, da stellte ich sie mir durch volumetrische Mischung aus 0·25 und 0·30 GM her; z. B. 0·28 GM aus 8 *cm*³ 0·25 GM + 12 *cm*³ 0·30 GM.

Schlierenbildung kann bei Rohrzucker-Plasmolysen, wir ich durch mehrfache unangenehme Vorkommnisse erfuhr, eine bedeutende Fehlerquelle werden, besonders wenn frischbereitete Lösungen im unteren Teil des Fläschchens noch etwas konzentrierter als oben sind. Versuch 7 gibt ein Beispiel. Ich schüttelte die verdünnten Lösungen gut durch und ließ sie dann noch womöglich vor dem Eintragen der Präparate ½ bis 1 Stunde stehen.

Herstellung und Behandlung der Präparate: Alle Präparate schnitt ich aus freier Hand, eventuell zwischen Hollundermark, nie mit dem Mikrotom. Eine der wichtigsten Regeln für alles plasmolytische Arbeiten ist, daß die Schnitte nicht zu dünn sein dürfen. Die Zellen, iu denen der Grad der Plasmolyse beurteilt werden soll, müssen stets durch mindestens eine Lage unverletzter Zellen von der Schnittfläche getrennt sein. In der Randlage treten verschiedene Abnormalitäten auf. Allgemeine Regeln über die Dicke der Schnitte lassen sich schwer aufstellen; für jedes Objekt muß die Erfahrung des Beobachters entscheiden. In den inneren Zellagen dickerer Schnitte tritt nur die Plasmolyse naturgemäß später ein. Wenn Grenzplasmolyse an dickeren Grundgewebsschnitten oft sehr schwer zu erkennen ist, so entfällt diese Schwierigkeit für die plasmolytisch-volumetrische Methode; die Konturen stark und endgültig plasmolysierter Protoplaste lassen sich, bei ent sprechender Übung und Aufmerksamkeit, selbst in hyalinen Zellen im Innern dickerer Schnitte stets deutlich wahrnehmen Eventuell hilft starkes Variieren in der Öffnungsweite der Irisblende. Ob die Schnitte direkt nach dem Schneiden in die Plasmolytika gebracht werden oder erst in H_2O liegen sollen, darüber läßt sich keine allgemeine Regel aufstellen. Wir werden uns mit der Frage noch beschäftigen; ebenso mit der nach der Dauer der Plasmolyse.

Zum Eintragen der Präparate in die Lösungen und zum Herausnehmen verwendete ich eine lange, glatte, sehr leicht federnde Nickelpinzette.

Besondere Aufmerksamkeit ist darauf zu verwenden, daß während der mikroskopischen Untersuchung der Lösungstropfen, in dem das Präparat liegt, nicht konzentrierter wird. In dieser Beziehung ist die plasmolytisch-volumetrische Methode ungünstiger daran als die grenzplasmolytische, da die Beobachtung und Messung eines Präparates viel länger, oft bis 15 Minuten, dauern kann.

Die Pipette, mit der der Tropfen auf den Objektträger gebracht wird, wurde stets erst nochmals mit der betreffenden Lösung ausgespritzt. Während der Beobachtung wurde alle paar Minuten Lösung durchgesaugt. Ich verwendete nicht Lösch papier, sondern brachte einen großen Tropfen Lösung mit der Pipette vorsichtig an die eine Seite des Präparates, so daß das Deckglas schwamm, und saugte unmittelbar darauf von der andern Seite her ab. Das geht viel rascher. Verdunstung wird vermieden. Die Protoplastenvolumina reagieren unglaublich fein auf Konzentrierung der Lösung. Zur Kontrolle wurde deshalb bei länger dauernden Messungen stets zuletzt revidiert, ob in den zuerst gemessenen Zellen die Protoplastenlänge die gleiche geblieben sei.

Die Proportionalitätsversuche lassen sich, wie schon erwähnt, nach zwei Hauptarten ausführen:

1. Entweder werden, wie bisher bei grenzplasmolytischen Versuchen, gleiche, benachbarte Präparate in verschiedene Lösungen steigender Konzentration gebracht und nach Eintritt des Gleichgewichtes die erreichten Grade der Plasmolyse bestimmt.

2. Oder ein und dasselbe Präparat wird erst in schwächer hypertonischer Lösung bis zum Gleichgewicht plasmolysiert und *G* abgelesen, darauf in konzentriertere Außenlösung überführt und hier die stärkere Plasmolyse, sobald sie perfekt geworden, in denselben Zellen gemessen, dann weiter in noch stärkere Konzentration gebracht u. s. f.

Wir haben diese letzteren Versuche als Stufenversuche bezeichnet. Sie sind zweifellos zuverlässiger, da sie alle individuellen Unterschiede zwischen Zellen benachbarter Präparate ausschließen. Sie sind zeitraubender, aber insofern bequemer, als die mittleren Zellängen und die Zellbreiten nur einmal (und ein zweites Mal zur Kontrolle) gemessen zu werden brauchen. Sie bedeuten einen Vorzug der plasmolytisch-volumetrischen Methode besonders in allen Fällen, wo der osmot. Wert individueller Einzelzellen sicher bestimmt oder wo z. B. osmotische Unterschiede zwischen den Zellen eines Gewebes oder zwischen benachbarten Gewebekategorien eines Präparates (Längsschnittes) sicher ermittelt werden soll. Ich habe die meisten plasmol.-vol. Messungen in Form von Stufenversuchen vorgenommen; zumindest pflege ich jedes Präparat, nachdem der Grad der Plasmolyse in einer Konzentration abgelesen, noch zur Kontrolle in einer stärkeren Konzentration zu plasmolysieren.

Hiebei muß nur dafür gesorgt werden, daß die für die erste Messung gewählten Zellen die späteren Male sicher und rasch wieder aufgefunden werden können. Vor allem muß der Schnitt jedesmal von derselben Seite betrachtet werden. Wo Verwechslung möglich, sorgte ich dafür am einfachsten in folgender Art: Ich begrenzte z. B. Stengelstücke, aus denen Längsschnitte hergestellt werden sollten, durch einen geraden und einen schiefen Querschnitt, so daß jeder aus ihnen median hergestellte Schnitt nicht rechteckig, sondern trapezförmig im Umriß wurde. In einer kleinen Skizze merkte ich mir die Lage des Schnittes und die der gemessenen Zellen an. Um Schädigung der Schnitte durch allzu häufiges Anfassen zu vermeiden, brachte ich sie nur aus den Fläschchen auf den Objektträger mit der Pinzette, zurück in die nächststärkere Konzentration aber, indem ich erst Lösung zusetzte und dann das Deckglas an einer vom Präparat entfernten Ecke mit der Pinzette faßte, samt dem Präparat abhob und rasch nach Abstreifen des überschüssigen Lösungstropfens in das nächste Fläschchen tauchte. So wird auch jede Quetschung vermieden. Wenn ein Schnitt aber doch aus irgend einem Grunde geschädigt wird, so äußert sich das natürlich sogleich aufs schärfste durch Zurückgehen der Plasmolyse oder in Abweichungen von der normalen Gestalt und Proportionalität und es besteht — im Gegensatz zur grenzplasmolytischen Methode — kaum die Gefahr, daß alterierte Präparate für intakt gehalten werden können.

Mikroskopische Beobachtung: Je stärker die Vergrößerung, desto genauer läßt sich für dieselbe Zelle der Grad der Plasmolyse bestimmen. Daher sind für die plasmol.-vol. Messungen stärkere Vergrößerungen, als sie für gewöhnliches plasmolytisches Arbeiten üblich sind, zu empfehlen. Für alle in dieser Arbeit mitgeteilten Versuche verwendete ich einheitlich etwa 400fache Vergrößerung (Zeiß Obj. D, Ok. 4, Tubus 150 *mm*). Ein Teilstrich mißt 3·9 μ. Noch stärkere Objektive erschweren die Beobachtung der inneren Zellagen in dickeren Schnitten. Gemessen wurde mit dem gewöhnlichen Okularmikrometer 10 *mm* : 100, halbe (und ev. viertel) Teilstriche sind leicht zu schätzen. Mikrometer mit halbgeteilten Einheiten vermied ich, da sie bei dem oft stundenlang fortgesetzten Arbeiten die Augen zu stark anstrengen. Für genaue Messung der Meniskushöhen leistet ein verschiebbarer und drehbarer Objekttisch gute Dienste. Neuerdings verwende ich mit Erfolg das Zeiß'sche orthoskopische Okular Nr. 5 mit großem Gesichtsfeld, um auch lange Zellen auf einmal übersehen und ohne Längsverschiebung messen zu können. — Für dünne Objekte lassen sich auch noch stärkere Vergrößerungen heranziehen; ich benützte die Wasserimmersion *J'* mit Korrektionsfassung. Daß starkes Variieren in der Öffnungsweite der Irisblende die Wahrnehmung auch der zartesten Protoplaste erleichtert, wurde schon erwähnt.

Alle Versuche fanden bei Zimmertemperatur statt (18 bis 22°, im Sommer auch etwas höher). Kleine Schwankungen waren für mich belanglos. Die Fläschchen standen in diffusem Licht oder dunkel. Für die in Ramsau bei Schladming (in Obersteiermark) an Freilandpflanzen vorgenommenen Untersuchungen brachte ich die Apparatur und dest. H_2O aus dem Pflanzenphysiologischen Institut in Wien mit. Die für die Herstellung der Normallösungen nötigen Wägungen nahm ich in der modern eingerichteten Edelweißapotheke in Schladming vor; ich möchte deren Besitzer Herrn Mag. pharm. Josef Ottowitz an dieser Stelle für sein stets bewiesenes freundliches Entgegenkommen schönstens danken. Alle folgenden Versuche fanden, wo nichts anderes bemerkt, im Institut in Wien statt.

Einige Bemerkungen über den aus der Ungenauigkeit der mikroskopischen Ablesung entspringenden Fehler werde ich im nächsten Paragraphen an der Hand der Protokolle nachtragen.

§ 8. Proportionalitätsversuche.

Die folgenden Versuche sollen darüber Aufschluß geben, ob und wie weit die nach den Ausführungen des allgemeinen Teiles dieser Arbeit erwartete Gesetzmäßigkeit, die »Proportionalität im Grade der Plasmolyse« wirklich zutrifft. Wenn dasselbe Objekt in verschieden starken Außenlösungen in verschieden starkem Grad plasmolysiert wird, so sollen die Grade der Plasmolyse sich den Konzentrationen der Außenlösungen umgekehrt proportional verhalten. Von der Gültigkeit dieses Satzes wird unser Urteil über die Berechtigung der ganzen plasmolytisch-volumetrischen Methode, soweit sie wahre osmotische Werte ermitteln soll, abhängen müssen. Die Versuche, die die Gültigkeit des Satzes prüfen sollen, sind insoferne die wichtigsten der ganzen Arbeit.

Proportionalitätsversuche habe ich im Laufe der letzten zwei Jahre an zahlreichen niederen und höheren Pflanzen und an sehr verschiedenen Geweben angestellt. Für die Mitteilung in dieser Arbeit scheint es indes geboten, die entscheidenden Versuche zunächst auf ein bestimmtes, möglichst günstiges Objekt, das nach den verschiedenen Richtungen eingehend zu studieren ist, zu beschränken.

Für ein solches Objekt sind folgende Eigenschaften erwünscht:

1. Es soll gut meßbare, zylindrisch-prismatische Zellen in ausreichender Menge darbieten.

2. Die Vakuole soll den größten Teil des Protoplasten ausmachen, der plasmatische Wandbeleg soll dünn sein, so daß sein Volum dem des Zellsaftraumes gegenüber vernachlässigt werden darf. In dem Fall können wir von der komplizierenden, in § 5 besprochenen »Protoplasmakorrektur« an den berechneten osmotischen Werten absehen.

3. Größere Zellen erlauben bei mäßiger Vergrößerung genauere Bestimmung des Grades; in langgestreckten Zellen sind meist die Menisci regelmäßiger geformt.

4. Schließlich sollen die Versuche zur Illustrierung der Methode geeignet sein, sie sollen stets überall leicht und bequem wiederholt werden können, die Versuchspflanze daher zu jeder Jahreszeit zur Verfügung stehen. Zur Einübung verdienen ferner Zellen mit gefärbtem Zellsaft den Vorzug.

Diesen Anforderungen entsprechen die Grundgewebszellen aus der Stengelachse von *Tradescantia*. Ich wählte die langgestreckten äußersten Markzellen,[1] die an die peripheren Gefäßbündel (und die zwischen diesen gelegenen getüpfelten, schwach verholzten Prosenchymzellen) von innen angrenzen, und die Zellen der 3 bis 4 nächstinnern Reihen. Meine Versuchspflanze war *Tradescantia guianensis*,[2] die mir aus dem Kalthaus des Pflanzenphysiologischen Institutes das ganze Jahr zur Verfügung stand.

Das Objekt hat freilich einige Schattenseiten, die jedoch mehr formaler Art sind: Die Zellwände erhalten die Form, die sie nach Aufhebung der Turgeszenz beim ersten Eintritt der Plasmolyse haben, später nicht ganz, die leeren Zellenden sinken hie und da etwas ein. Die hiedurch bedingte nachträgliche Abweichung von der Zylinderform kümmert uns indes nicht. Wir verstanden ja unter dem Grad der Plasmolyse das Volumverhältnis des plasmol. Protoplasten zum Innenvolum der (eben) entspannten Zelle, diese ist aber meist überall genau gleich breit. Die Zellänge wird nach meinen Erfahrungen meist nicht nachträglich reduziert. Zweitens ist das *Tradescantia*-Mark, wenn gerade kein »Indikatorgewebe«, so doch immerhin sehr gut plasmolysierbar, und auch die grenzplasmolytische Methode gibt brauchbare Resultate. Bei Geweben, wo die Adhäsion größer ist, die erste Plasmaabhebung schwerer erfolgt, würde der Nutzen der plasmolytisch-volumetrischen Methode vor der grenzplasmolytischen besser hervortreten.

Ich teile nun die Stufenversuche mit und verspare alle zur weiteren Kritik des Objekts angestellten Versuche auf den nächsten Paragraphen.

Die Art der Ablesung und Protokollierung wurde schon im § 4 des allgemeinen Teils vorgeführt. Ich bitte das dort (p. 13 [111]) Gesagte vergleichen zu wollen. Genau wie in der schematischen Figur 5 geschahen in allen wirklichen Versuchen die Messungen. Die Abb. 1 bis 8 auf Tafel I stellen plasmolysierte *Tradescantia*-Zellen vor. Man denke in jede Zelle wie in Textfigur 5 (p. 14 [112]) in die Mediane den Maßstab eingetragen.

---

[1] Es sei erlaubt, den innerhalb des äußeren Gefäßbündelringes gelegenen Grundgewebsanteil als »Mark« zu bezeichnen. Streng genommen ist ja der Ausdruck für den monokotylen *Tradescantia*-Stamm nicht ganz korrekt.

[2] *Tradescantia guianensis* Miq. = *Tradescantia elongata* G. F. W. Meyer.

In den Tabellen bedeutet also: C die Konzentration der plasmolysierenden Rohrzuckerlösung, $l:h$ Protoplastenlänge durch Zellänge, $2\,m$ die Höhen der Menisci, b die innere Zellbreite; rechts vom Doppelstrich ist für jede Zelle der Grad der Plasmolyse berechnet, G mit Index (G_{30}) ist der Mittelwert der in 0·30 GM Rohrz. erreichten Grade, O_{30} der hieraus ($O = C \times G$) berechnete osmotische Wert.

Versuch 5. 19./V. 1916.

Stufenversuch. *Tradescantia guianensis,* Längsschnitt aus der Mitte eines oberen Internodiums, randständige Markzellen. Direkt nach dem Schneiden in 0·30 GM Rohrz. eingelegt am 18./V. 1916 abends; endgültige Plasmolyse abgelesen 19./V. vormittags. Dann in 0·35 GM, hier abgelesen nach 2 Stunden; dann in 0·45 GM, dann in 0·60 GM, nach je 2 Stunden abgelesen. Gemessen wurden 11 benachbarte gleichbreite Zellen derselben Längsreihe,

$$b = 14\frac{1}{2}', \; r = 7\frac{1}{4}', \text{ alle Menisci } 6' \text{ hoch, also } m:r = 6:7\frac{1}{4} = 8{\cdot}28:10,$$

daher der Meniskusfaktor (nach § 2 ganz genau berechnet) $\lambda = 0{\cdot}385$, die Meniskuskorrektur (hier überall gleich groß) $= 2 \times 6 \times 0{\cdot}385 = 4{\cdot}6'$.

C	Zelle	$\frac{l}{h}$	$2\,m$	b	$\frac{l - 2\lambda m}{h} = G$	$G \times C = O$
0·30 GM Rohrz.	1.	$\frac{18\frac{1}{2} - 57}{61}$	2×6	$14\frac{1}{2}$	$\frac{38{\cdot}5 - 4{\cdot}6}{61} = 0{\cdot}556$	
	2.	$\frac{8\frac{1}{2} - 44\frac{1}{2}}{53}$	»	»	$\frac{36 - 4{\cdot}6}{53} = 0{\cdot}592$	
	3.	$\frac{6\frac{1}{2} - 31}{36}$	»	»	$\frac{24{\cdot}5 - 4{\cdot}6}{36} = 0{\cdot}553$	
	4.	$\frac{5\frac{1}{2} - 39}{47\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{33{\cdot}5 - 4{\cdot}6}{47{\cdot}5} = 0{\cdot}608$	
	5.	$\frac{9 - 53}{65\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{44 - 4{\cdot}6}{65{\cdot}5} = 0{\cdot}602$	
	6.	$\frac{10 - 58}{71}$	»	»	$\frac{48 - 4{\cdot}6}{71} = 0{\cdot}611$	
	7.	$\frac{7 - 34\frac{1}{2}}{40}$	»	»	$\frac{27{\cdot}5 - 4{\cdot}6}{40} = 0{\cdot}572$	
	8.	$\frac{10 - 52}{63\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{42 - 4{\cdot}6}{63{\cdot}5} = 0{\cdot}590$	
	9.	$\frac{12 - 51\frac{1}{2}}{59\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{39{\cdot}5 - 4{\cdot}6}{59{\cdot}5} = 0{\cdot}589$	
	10.	$\frac{8 - 38}{44\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{30 - 4{\cdot}6}{44{\cdot}5} = 0{\cdot}571$	
	11.	$\frac{5 - 35}{42\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{30 - 4{\cdot}6}{42{\cdot}5} = 0{\cdot}598$ $\mathbf{G_{30} = 0{\cdot}585}$	$0{\cdot}585 \times 30 =$ $\mathbf{O_{30} = 0{\cdot}175}$

(Versuch 5. — 2. Messung.)

C	Zelle	$\frac{l}{h}$	2 *m*	*b*	$\frac{l-2\lambda m}{h}=G$	$G\times C=O$
0·35 GM Rohrz.	1.	$\frac{19\frac{1}{2}-53}{61}$	2 × 6	$14\frac{1}{2}$	$\frac{33\cdot5-4\cdot6}{61}=0\cdot474$	
	2.	$\frac{9\frac{3}{4}-41}{53}$	»	»	$\frac{31\cdot3-4\cdot6}{53}=0\cdot504$	
	3.	$\frac{9-30\frac{1}{2}}{36}$	»	»	$\frac{21\cdot5-4\cdot6}{36}=0\cdot470$	
	4.	$\frac{5\frac{1}{2}-35}{47\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{29\cdot5-4\cdot6}{47\cdot5}=0\cdot524$	
	5.	$\frac{15-52\frac{1}{2}}{65\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{37\cdot5-4\cdot6}{65\cdot5}=0\cdot502$	
	6.	$\frac{12-53}{71}$	»	»	$\frac{41-4\cdot6}{71}=0\cdot513$	
	7.	$\frac{8-32}{40}$	»	»	$\frac{24-4\cdot6}{40}=0\cdot485$	
	8.	$\frac{12\frac{1}{2}-48}{63\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{35\cdot5-4\cdot6}{63\cdot5}=0\cdot487$	
	9.	$\frac{14\frac{1}{2}-48\frac{1}{2}}{59\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{34-4\cdot6}{59\cdot5}=0\cdot494$	
	10.	$\frac{10-36}{44\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{26-4\cdot6}{44\cdot5}=0\cdot481$	
	11.	$\frac{7-33}{42\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{26-4\cdot6}{42\cdot5}=0\cdot504$	$0\cdot494\times0\cdot35=$
					$\mathbf{G_{35}=0\cdot494}$	$\mathbf{O_{35}=0\cdot173}$

(Versuch 5. — 3. Messung.)

C	Zelle	$\frac{l}{h}$	$2\,m$	b	$\frac{l-2\lambda m}{h}=G$	$G\times C=O$
0·45 GM Rohrz.	1.	$\frac{22-49\frac{1}{2}}{61}$	2×6	$14\frac{1}{2}$	$\frac{27\cdot5-4\cdot6}{61}=0\cdot37_5$	
	2.	$\frac{12-37\frac{1}{2}}{53}$	»	»	$\frac{25\cdot5-4\cdot6}{53}=0\cdot39_1$	
	3.	$\frac{11\frac{1}{2}-29}{36}$	»	»	$\frac{17\cdot5-4\cdot6}{36}=0\cdot35_8$	
	4.	$\frac{8-32}{47\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{24-4\cdot6}{47\cdot5}=0\cdot40_8$	
	5.	$\frac{19-48\frac{1}{2}}{65\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{29\cdot5-4\cdot6}{65\cdot5}=0\cdot38_0$	
	6.	$\frac{16\frac{1}{2}-49\frac{1}{1}}{71}$	»	»	$\frac{33-4\cdot6}{71}=0\cdot40_0$	
	7.	$\frac{10\frac{3}{4}-30}{40}$	»	»	$\frac{19\cdot3-4\cdot6}{40}=0\cdot36_8$	
	8.	$\frac{16-45}{63\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{29-4\cdot6}{63\cdot5}=0\cdot38_4$	
	9.	$\frac{18\frac{1}{2}-46}{59\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{27\cdot5-4\cdot6}{59\cdot5}=0\cdot38_5$	
	10.	$\frac{13-34}{44\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{21-4\cdot6}{44\cdot5}=0\cdot36_9$	
	11.	$\frac{11-32}{42\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{21-4\cdot6}{42\cdot5}=0\cdot38_6$	$0\cdot38_2\times0\cdot45=$
					$G_{45}=0\cdot38_2$	**$O_{45}=0\cdot17_2$**

(Versuch 5. — 4. Messung.)

C	Zelle	$\frac{l}{h}$	2 m	b	$\frac{l-2\lambda m}{h}=G$	$G\times C=O$
0·60 GM Rohrz.	1.	$\frac{23-44}{61}$	2 × 6	$14\frac{1}{2}$	$\frac{21-4\cdot6}{61}=0\cdot26_9$	
	2.	$\frac{15\frac{1}{2}-34\frac{2}{3}}{53}$	»	»	$\frac{19\cdot2-4\cdot6}{53}=0\cdot27_5$	
	3.	$\frac{13-28}{36}$	»	»	$\frac{15-4\cdot6}{36}=0\cdot28_9$	
	4.	$\frac{10-28\frac{1}{2}}{47\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{18\cdot5-4\cdot6}{47\cdot5}=0\cdot29_3$	
	5.	$\frac{22-45\frac{1}{2}}{65\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{23\cdot5-4\cdot6}{65\cdot5}=0\cdot28_8$	
	6.	$\frac{21-46\frac{1}{2}}{71}$	»	»	$\frac{25\cdot5-4\cdot6}{71}=0\cdot29_1$	
	7.	$\frac{12-28}{40}$	»	»	$\frac{16-4\cdot6}{40}=0\cdot28_5$	
	8.	$\frac{19-42}{63\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{23-4\cdot6}{63\cdot5}=0\cdot29_0$	
	9.	$\frac{20-44}{59\frac{1}{2}}$ ×	abnorm	»	(0·37)	
	10.	$\frac{15-37}{44\frac{1}{2}}$ ×	abnorm	»	(0·39)	
	11.	$\frac{13-30\frac{1}{2}}{42\frac{1}{2}}$	2 × 6	»	$\frac{17\cdot5-4\cdot6}{42\frac{1}{2}}=0\cdot30_4$	$0\cdot28_7\times0\cdot60=$
					$G_{60}=0\cdot28_7$	**$O_{60}=0\cdot17_2$**

Versuch 5 ist ein Beispiel eines ganz gelungenen Stufenversuches. Die vier unabhängig von einander bestimmten osmotischen Werte unterscheiden sich nur um drei Stellen der dritten Dezimale: $O_{30} = 0 \cdot 17_5$, $O_{35} = 0 \cdot 17_3$, $O_{45} = 0 \cdot 17_2$, $O_{60} = 0 \cdot 17_2$ GM Rohrz., oder um $2^0/_0$. So genau stimmen hier die Produkte $C \times G$ überein, so genau besteht also die Proportionalität im Grade der Plasmolyse!

Es sind hier alle 11 Zellen bis zur dritten Messung inklusive ganz intakt geblieben. Erst bei der vierten Messung in 0·60 weichen Zelle 9 und 10 von der Proportionalität weit ab. Wie das Protokoll bemerkt, ließen aber diese zwei Protoplaste schon, ehe sie gemessen wurden, an ihrer Form erkennen, daß sie stark geschädigt waren. 9 Zellen sind noch jetzt intakt. Das kommt nur selten und nur bei ganz sorgfältiger Versuchsanstellung vor. Meist treten früher in einzelnen Zellen Abnormalitäten auf.

Es sei erlaubt, an dieser Stelle nebenbei auf die volle Objektivität der Messungen — im Vergleich zu allen auf Schätzung beruhenden plasmolytischen Beobachtungen — aufmerksam zu machen. Während der mikroskopischen Beobachtung sieht man den protokollierten Zahlen natürlich ganz und gar nicht an, was für Grade sie ergeben werden. Die Berechnung der ganzen, fertigen Protokolle pflege ich nachträglich, meist erst nach Tagen oder Wochen, vorzunehmen.

Der folgende, in Taf. I, Abb. 1 bis 4, dargestellte Stufenversuch wurde mit ganz gleichem Material wie Versuch 5, mit einem benachbarten Längsschnitt aus demselben Internodium, durchgeführt. Nur die Konzentrationen waren 0·30, 0·35, 0·40, 0·50 GM Rohrz. Die zwei ausgewählten Protoplaste (die nur näher als in der Regel an der Schnittfläche lagen, um im Zeichenapparat deutlicher wahrnehmbar zu werden), wurden jedesmal von mir gemessen, darauf von Herrn Assistenten Gicklhorn bei etwas schwächerer Vergrößerung gezeichnet.[1]

Versuch 6. 19./V. 1916.

Alles wie in Versuch 5. Zellbreite 20', Meniskushöhe 8', also Meniskusfaktor $\lambda = 0 \cdot 4$.
Meniskuskorrektur $= 2 \times 8 \times 0 \cdot 4 = 6 \cdot 4$.

Zelle	C	$\frac{l}{h}$	2 *m*	*b*	$\frac{l - 6 \cdot 4}{h} = G$	$G \times C = O$
I	0·30 GM	$\frac{9\frac{1}{2} - 49\frac{1}{2}}{59\frac{1}{2}}$	2×8	20'	$\frac{40 - 6 \cdot 4}{59 \cdot 5} = 0 \cdot 56_5$	$0 \cdot 169_5$
	0·35 GM	$\frac{12 - 47\frac{1}{3}}{59\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{35 \cdot 3 - 6 \cdot 4}{59 \cdot 5} = 0 \cdot 48_6$	$0 \cdot 17_0$
	0·40 GM	$\frac{14\frac{1}{2} - 46\frac{1}{3}}{59\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{31 \cdot 8 - 6 \cdot 4}{59 \cdot 5} = 0 \cdot 42_7$	$0 \cdot 17_1$
	0·50 GM	$\frac{17 - 43\frac{2}{3}}{59\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{26 \cdot 7 - 6 \cdot 4}{59 \cdot 5} = 0 \cdot 34_2$	$0 \cdot 17_1$

[1] Ich danke Herrn Assistenten J. Gicklhorn herzlich für die Herstellung sämtlicher Abbildungen, sowie für sein stetes reges Interesse an meinen Arbeiten.

Zelle	C	$\frac{l}{h}$	2 *m*	*b*	$\frac{l-6\cdot4}{h}=G$	$G\times C=O$
II	0·30 GM	$\frac{18-74\cdot5}{92}$	2 × 8	20'	$\frac{56\cdot5-6\cdot4}{92}=0\cdot54_1$	$0\cdot16_3$
	0·35 GM	$\frac{20\frac{1}{2}-7}{92}\,k$	»	»	$\frac{49\cdot5-6\cdot4}{92}=0\cdot46_8$	$(0\cdot16_4)$
	0·40 GM	$\frac{25-68\frac{1}{2}}{92}$	»	»	$\frac{43\cdot5-6\cdot4}{92}=0\cdot40_3$	$0\cdot16_1$
	0·50 GM	$\frac{29-64\frac{2}{3}}{92}$	»	»	$\frac{35\cdot7-6\cdot4}{92}=0\cdot31_9$	$0\cdot16_0$

Zelle I zeigt vollkommene Proportionalität. Wie auch die Abbildungen 1 bis 4 auf Tafel I erkennen lassen, sind die Protoplastenvolumina und die Plasmolysegrade den Außenkonzentrationen umgekehrt proportional. — Bei der ersten Messung in 0·30 GM Rohrz. ist $G_{30}=0\cdot56_5$, daher der osmotische Wert $O_{30}=0\cdot56_5\times0\cdot30=0\cdot16_{95}$ GM. Die zweite Ablesung in 0·35 GM ergibt den Wert $O_{35}=0\cdot17_0$ GM. Aus der dritten Messung folgt $O_{40}=0\cdot17_1$ GM, aus der vierten Messung $O_{50}=0\cdot17_1$ GM. Die vier berechneten Werte unterscheiden sich bloß um 0·0015 GM Rohrz., um anderthalb Einheiten der dritten Dezimale. Die Übereinstimmung erreicht eine Genauigkeit von 1%.

Zelle II zeigt bei der zweiten Ablesung in 0·35 GM aus unbekannten Ursachen die morphologische Abnormalität, die in § 10 als »Kerbplasmolyse« beschrieben werden soll (Taf. I, 2); hier berechnet sich ein etwas nach oben abweichender osmot. Wert, doch ist die Proportionalität mit größter Annäherung gewahrt. Vielleicht ist der kleine Unterschied nur durch die unvollkommenere Volumsberechnung, in der die Kerbe des Protoplasten unberücksichtigt blieb, veranlaßt. Bei weiterer Kontraktion in 0·40 GM hat sich die Unregelmäßigkeit fast ausgeglichen (nicht ganz: eine kleine Ungleichmäßigkeit der Rundung ist in der Zeichnung nicht wiedergegeben); in 0·50 GM ist der Grad der Plasmolyse etwas zu stark, doch durchaus als proportional zu bezeichnen. Die gesamte Abweichung beträgt 0·004 GM oder $2\frac{1}{2}$%.

Sind nun die kleinen Differenzen der für dieselbe Zelle berechneten osmot. Werte in Eigenschaften des Objekts begründet oder liegen sie innerhalb der Fehlergrenze der Messungen? Wir bedürfen eines Urteils über die Genauigkeit der mikroskopischen Ablesungen.

Die Protoplastenlänge *l* wurde im allgemeinen auf halbe Teilstriche genau bestimmt. Der mögliche Fehler ist also zumindest $\pm\frac{1}{4}'$. Das entspricht für die Berechnung einem Fehler im Dividenden von ±0·25; also für den Grad der Plasmolyse z. B. in Zelle I 0·25 : 59·5 = 0·0042; der Fehler für den osmot. Wert ist also in 0·30 GM Rohrz. = 0·0042 × 0·30 = = ±0·0013 GM, in 0·50 GM = ±0·0021 GM. Das ist schon weit mehr als die halbe Differenz der gefundenen Werte. Denn diese schwanken ja in Zelle I nur um 0·0015 GM. Hier besteht also zwischen den in 0·30, 0·35, 0·45, 0·50 GM Rohrz. erreichten Graden der Plasmolyse innerhalb der Fehlergrenzen vollkommene Proportionalität.

Vergleichen wir verschiedene Zellen, so kommt für die Beurteilung der Genauigkeit jedes Grades auch noch der Messungsfehler der Zellänge *h* in Betracht. Die mittlere Zellänge läßt sich oft nicht so genau messen wie die der scharf konturierten

Protoplaste; wir müssen den möglichen Fehler hier mit $\pm\frac{1}{2}$ Teilstrich annehmen. Das gibt aber (wenn *h* z. B. 60' statt $59\frac{1}{2}$' wäre, in 0·30 GM) einen Fehler für *G* von $\pm 0\cdot005$ GM (der Fehler wird für längere Zellen und für stärkere Grade kleiner). Sollten die Fehler für *l* und *h* sich summieren, so wäre *G* schon um $0\cdot005+0\cdot004=0\cdot01$ falsch. Geringe Abweichungen von der idealen Zylinderform können natürlich noch größere Fehler bewirken.

Auch für genau zylindrische Formen muß also mit einem Messungsfehler des Grades $G=\pm 0\cdot01$ gerechnet werden. Der resultierende Fehler des osmot. Wertes *O* ist dann z. B. für 0·30 GM Rohrz. als Plasmolytikum gleich $\pm 0\cdot003$ GM, für 0·60 GM gleich $\pm 0\cdot006$ GM. Die wirklichen Fehler sind kleiner. Das wird schon durch die Tatsache bewiesen, daß die im Experiment gefundenen osmot. Werte nur um 0·002 bis 0·004 GM auseinandergehen also Übereinstimmung bis auf $\pm 0\cdot001$ bis 0·002 GM Rohrz. erreichen.[1]

Betrachten wir nach dieser Ausführung nun noch an dem Beispiel der Versuchstabelle 5 folgende wichtige Frage, die die plasmol.-vol. Methode zu beantworten gestatten: Wie weit stimmen die gleichen Zellen derselben Längsreihe im osmot. Wert überein? Die größte Differenz der Grade der Plasmolyse ist in 0·30 GM $0\cdot61_1-0\cdot55_3=0\cdot05_8$; die Differenz der osmot. Werte also $0\cdot05_8\times0\cdot30=$ $=0\cdot017_1$ GM Rohrz. — Entsprechend in

0·35 GM	$0\cdot52_1-0\cdot47_0=0\cdot05_1$;	$0\cdot05_1\times0\cdot35=0\cdot018_9$ GM
0·45 GM	$0\cdot40_8-0\cdot35_8=0\cdot05$;	$0\cdot05\times0\cdot45=0\cdot022_5$ GM
0·60 GM	$0\cdot30_1-0\cdot26_9=0\cdot03_5$;	$0\cdot03_5\times0\cdot60=0\cdot021$ GM

Übereinstimmend erscheint hier die größte osmotsche Wertdifferenz der Zellen einer Reihe zirka $=0\cdot02$ GM Rohrz.[2]

Den möglichen Messungsfehler für *G* haben wir oben auf $\pm 0\cdot01$ geschätzt. Die Differenz der Grade beträgt nun hier in 0·30 GM 0·06. Etwa für den dritten Teil dieser Differenz könnten also direkt Ablesungsfehler verantwortlich sein. — Wirkliche Unterschiede bestehen aber auch. Das geht schon daraus hervor, daß in Versuch 5 für die einzelnen Zellen meist in allen vier Messungen die Plasmolyse relativ stärker oder schwächer ist. — Diese Unterschiede sind wohl nicht größer als 0·02 GM Rohrz. Kleiner könnten sie in einem Falle sehr gut sein — darauf ist noch besonders hinzuweisen — wenn nämlich die subtilen Abweichungen der Zellvolumina von der geometrischen Form, die in entgegengesetztem Sinn wirken könnten, die Differenzen ganz oder zum Teil veranlaßt hätten.

Aus den Genauigkeitsbetrachtungen folgt:

1. Der Grad der Plasmolyse läßt sich für zylindrische Zellen auf $\pm 0\cdot01$ bestimmen, der osmotische Wert entsprechend z. B. auf $\pm 0\cdot003-0\cdot006$ GM, wenn die plasmol. Lösungen 0·30—0·60 GM Rohrz. enthalten.

2. Der wahrscheinliche Fehler ist noch kleiner. Im wirklichen Versuche stimmen die Werte für die Einzelzelle bis auf $\pm 0\cdot001-0\cdot002$ GM Rohrz. überein.

3. Das Maß der osmotischen Übereinstimmung gleicher Zellen läßt sich nach der plasmol.-vol. Methode bestimmen. Der größte Unterschied ist beispielsweise für unser Objekt für die Zellen einer Längsreihe höchstens $=0\cdot02$ GM Rohrz., vielleicht kleiner.

* * *

[1] Wenn aus mehreren Zellen die Mittelwerte für *G* gezogen werden, wie das meist geschieht, so werden sich die Ablesungsfehler, da sie nicht einseitig wirken, im allgemeinen aufheben; ebenso auch die durch die eventuellen Abweichungen des Zellumens von der Zylinderform entstehenden Fehler.

[2] Diese Größe dürfte für unser Objekt charakteristisch sein; ich fand sie bei zahlreichen Messungen bestätigt, vgl. z. B. die folgenden Versuche 7, 13, 14 f.

Von zahlreichen gleichen Stufenversuchen kann ich mit Rücksicht auf den dargebotenen Raum nur noch einen samt dem ganzen Protokoll mitteilen. Der folgende Versuch soll nebenbei in einer Lösung (0·35 GM) den erheblichen Fehler zeigen, der entstehen kann, wenn die Schlierenbildung in frischbereiteten Rohrzuckerlösungen noch nicht ganz ausgeglichen ist.

Versuch 7. 23./III. 1916.

Tradescantia guianensis, Stengellängsschnitt. Am Vorabend direkt in 0·30 GM Rohrz. eingelegt. Kam um 9h früh in 0·35 GM (eben bereitete Lösung), 11h abgelesen; dann in 0·40 GM, 1h abgelesen, dann in 0·50 GM bis 4h 10; in 0·60 GM bis 6h. Von den gemessenen Zellen lagen die 3 ersten in der äußersten, die 5 anderen in der nächstinneren Parenchymreihe. In 0·35 GM war der Schnitt im untersten Teil des Fläschchens gelegen. Schon im Protokoll ist bemerkt: »Wert O_{35} ungültig, da Schlierenbildung noch nicht beendigt.« $\lambda = 0\cdot4$.

C	Zelle	$\frac{l}{h}$	$2\,m$	b	$\frac{l-2\lambda m}{h} = G$	$G \times C = O$
0·35 GM Rohrz.	1.	$\frac{9-56}{63\frac{1}{2}}$	$2\times6\frac{1}{2}$	17	$\frac{47-5\cdot2}{63\cdot5} = 0\cdot658$	
	2.	$\frac{10-55}{62}$	»	»	$\frac{45-5\cdot2}{62} = 0\cdot642$	
	3.	$\frac{10-65}{81}$	»	»	$\frac{55-5\cdot2}{81} = 0\cdot615$	
	4.	$\frac{15-58}{60}$	2×7	19	$\frac{43-5\cdot6}{60} = 0\cdot623$	
	5.	$\frac{7-53}{64}$	»	»	$\frac{46-5\cdot6}{64} = 0\cdot631$	
	6.	$\frac{21-88\frac{1}{2}}{98\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{67\cdot5-5\cdot6}{98\cdot5} = 0\cdot628$	
	7.	$\frac{13-75\frac{1}{2}}{90\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{62\cdot5-5\cdot6}{90\cdot5} = 0\cdot629$	
	8.	$\frac{9-64\frac{1}{2}}{81\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{55\cdot5-5\cdot6}{81\cdot5} = 0\cdot612$	$0\cdot630 \times 0\cdot35 =$
					$G_{35} = 0\cdot630$	**[$O_{35} = 0\cdot220$]**

(Versuch 7. — 2. Messung.)

C	Zelle	$\frac{l}{h}$	$2m$	b	$\frac{l-2\lambda m}{h}=G$	$G \times C = O$
0·40 GM Rohrz.	1.	$\frac{12-56}{63\frac{1}{2}}$	$2\times 6\frac{1}{2}$	17	$\frac{44-5\cdot 2}{63\cdot 5}=0\cdot 60_1$	
	2.	$\frac{10-53}{62}$	»	»	$\frac{43-5\cdot 2}{62}=0\cdot 61_0$	
	3.	$\frac{10\frac{1}{2}-62\frac{1}{2}}{81}$	»	»	$\frac{52-5\cdot 2}{81}=0\cdot 57_8$	
	4.	$\frac{18-58\frac{1}{2}}{60}$	2×7	19	$\frac{40\cdot 5-5\cdot 6}{60}=0\cdot 58_2$	
	5.	$\frac{9-52\frac{1}{2}}{64}$	»	»	$\frac{43\cdot 5-5\cdot 6}{64}=0\cdot 59_2$	
	6.	$\frac{21\frac{1}{2}-86\frac{1}{2}}{98\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{65-5\cdot 6}{98\cdot 5}=0\cdot 60_3$	
	7.	$\frac{13\frac{1}{2}-73}{90\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{59\cdot 5-5\cdot 6}{90\cdot 5}=0\cdot 59_6$	
	8.	$\frac{10\frac{1}{2}-65}{81}$	»	»	$\frac{54\cdot 5-5\cdot 6}{81}=0\cdot 60_1$	$0\cdot 59_5 \times 0\cdot 40 =$
					$\mathbf{G_{40}=0\cdot 59_5}$	$\mathbf{O_{40}=0\cdot 23_8}$

Die drei gültigen Werte sind $O_{40}=0\cdot 23_8$, $O_{50}=0\cdot 23_9$, $O_{60}=0\cdot 23_8$ GM Rohrz. Der wahre osmot. Wert steht also außer Zweifel. — Wollte man aus der ungültigen Messung in 0·35 GM, wo der Schnitt im unteren konzentrierteren Teil des Fläschchens gelegen war, den Wert berechnen, so ergäbe sich, ganz abweichend, $G_{35}=0\cdot 63_0$, $O_{35}=0\cdot 22_0$ GM Rohrz. Tatsächlich ist aber $O=0\cdot 23_8-0\cdot 23_9$ GM.

(Versuch 7. — 3. Messung.)

C	Zelle	$\frac{l}{h}$	$2\,m$	b	$\frac{l-2\lambda m}{h}=G$	$G\times C=O$
0·50 GM Rohrz.	1.	$\frac{18-54}{63\frac{1}{2}}$	$6+10$	17	$\frac{36-6\cdot4}{63\cdot5}=0\cdot466$	
	2.	$\frac{12-46\frac{1}{2}}{62\frac{1}{2}}$	$2\times6\frac{1}{2}$	»	$\frac{34\cdot5-5\cdot2}{62\cdot5}=0\cdot468$	
	3.	$\frac{13-55\frac{1}{2}}{81}$	"	»	$\frac{42\cdot5-5\cdot2}{81}=0\cdot480$	
	4.	$\frac{25-58\frac{1}{2}}{60}$	2×8	19	$\frac{33\cdot5-6\cdot4}{60}=0\cdot452$	
	5.	$\frac{13\frac{1}{2}-49\frac{1}{2}}{64}$	2×7	»	$\frac{36-5\cdot6}{64}=0\cdot475$	
	6.	$\frac{21\frac{1}{2}-79}{98\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{57\cdot5-5\cdot6}{98\cdot5}=0\cdot526$	
	7.	$\frac{16\frac{1}{2}-64\frac{1}{2}}{90\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{48-5\cdot6}{90\cdot5}=0\cdot480$	
	8.	$\frac{15\frac{1}{2}-60\frac{1}{2}}{81}$	»	"	$\frac{45-5\cdot6}{81}=0\cdot486$	$0\cdot479\times0\cdot50=$
					$\mathbf{G_{50}=0\cdot479}$	$\mathbf{{}_{50}=0\cdot239}$

Wir werden da besser umgekehrt hieraus die Konzentration C der Zuckerlösung am Grund des Fläschchens, dem Schnitt und Beobachtungstropfen entnommen sind, berechnen. Da $C=\frac{O}{G}$, ist sie gleich 0·378—0·38 GM Rohrz.

(Versuch 7. — 4. Messung.)

C	Zelle	$\frac{l}{h}$	2 m	b	$\frac{l - 2\lambda m}{h} = G$	$G \times C = O$
0·60 GM Rohrz.	1.	$\frac{21\frac{1}{2} - 52\frac{1}{2}}{63\frac{1}{2}}$	10 + 7	17	$\frac{31 - 6 \cdot 8}{63 \cdot 5} = 0 \cdot 381$	
	2.	$\frac{14 - 44}{62}$	2 × 7	»	$\frac{30 - 5 \cdot 6}{62} = 0 \cdot 393$	
	3.	$\frac{15 - 52\frac{1}{2}}{81}$	»	»	$\frac{37 \cdot 5 - 5 \cdot 6}{81} = 0 \cdot 394$	
	4.	$\frac{28\frac{1}{2} - 58}{60}$	2 × 8	19	$\frac{29 \cdot 5 - 6 \cdot 4}{60} = 0 \cdot 385$	
	5.	$\frac{16 - 47\frac{1}{2}}{64}$	2 × 7	»	$\frac{31 \cdot 5 - 5 \cdot 6}{64} = 0 \cdot 405$	
	6.	$\frac{30 - 76}{98\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{46 - 5 \cdot 6}{98 \cdot 5} = 0 \cdot 410$	
	7.	$\frac{19 - 59}{90\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{34 \cdot 4 - 5 \cdot 6}{90 \cdot 5} = 0 \cdot 380$	
	8.	$\frac{15\frac{1}{2} - 55\frac{1}{2}}{81}$	»	»	$\frac{40 - 5 \cdot 6}{81} = 0 \cdot 425$	0·397 × 0·60 =
					$G_{60} = 0 \cdot 397$	**$O_{60} = 0 \cdot 238$**

Dieser Vorgang mag ein Beispiel sein für die Konzentrationsbestimmung einer Rohrzuckerlösung auf physiologischem Weg, mittels der plasmol.-vol. Methode. Es leuchtet ein, daß wir im günstigen Fall die Konzentration einer mäßig hypertonischen Lösung bis auf ± 0·001 — 0·002 GM genau bestimmen und dabei vielleicht mit 1 *cm*³-Lösung ausreichen könnte — für eine physiologische Methode wohl eine seltene Leistung. Freilich vertragen die heiklen Protoplaste nur ganz reine Lösungen! —

Von einem weiteren *Tradescantia*-Versuch teile ich nur die Resultate, die in den einzelnen Zellen und Konzentrationen enthaltenen Grade *G* und die berechneten Werte *O* mit.

Versuch 8. 31./I. bis 1./II. 1916.

Stufenversuch, Schnitt 31./I. 12^h in 0·30 GM Rohrz., 4^h abgelesen, dann in 0·40 GM 6^h30 abgelesen; um 7^h in 0·50 GM, 1./II. 11^h30 abgelesen, dann in 0·60 GM, 5^h30 abgelesen. (Bei allen späteren Versuchen waren die Intervalle zwischen den Ablesungen kürzer.) Randständ. Markzellen einer Längsreihe. Das Protokoll wie in Versuch 5 bis 7.

Zelle Nr.	0·30 GM	0·40 GM	0·50 GM	0·60 GM
1.	G = 0·81	G = 0·581	G = 0·468	G = 0·398
2.	0·88	0·611	0·480	0·412
3.	0·88	0·587	0·486	0·401
4.	0·87	0·583	0·472	0·393
5.	adhär.	0·588	0·491	0·413
6.	adhär.	0·613	0·484	0·427
7.	adhär.	0·602	0·482	Tonoplast [1]
8.	adhär.	0·590	0·473	0·396
9.	adhär.	0·606	0·528	0·436 [2]
		G_{40} = 0·596	**G_{50} = 0·485**	**G_{60} = 0·409**
		O_{40} = 0·238 GM	**O_{50} = 0·243** GM	**O_{60} = 0·245** [2] GM

[1] Vgl. § 10*b*.

[2] Würde bei der 3. und 4. Messung die abweichende Zelle 9 von der Berechnung des Mittelwertes ausgeschlossen, so folgte bessere Übereinstimmung: O_{40} = 0·238, O_{50} = 0·240, O_{60} = 0·243 GM Rohrz.

Versuch 8 zeigt etwas methodisch Wichtiges: daß die in der schwachhypotonischen Lösung bestimmten Grade unbrauchbar sind: Die Protoplaste adhärieren in 0·30 GM an der Mitte der Querwand oder berühren dieselbe doch; bei Zelle 5 bis 9 läßt sich das Volum nicht bestimmen; wo die Berechnung gelang, ist die Plasmolyse zu schwach, schwächer als nach der Proportionalität zu erwarten. Vermutlich stört die Adhäsion die Erreichung des Gleichgewichtes, wie sie bei den *Gentiana*-Versuchen in § 6 überhaupt den Eintritt der Plasmolyse gehindert hat.

An der Querwand adhärierende Protoplaste sind von der Bestimmung des osmotischen Wertes auszuschließen. — Die anderen Werte stimmen leidlich überein. [3]

* * *

Weitere Proportionalitätsversuche an *Tradescantia*-Grundgewebszellen und verschiedenartigen anderen zylindrischen Zellen habe ich im Laufe der letzten 2 Jahre in großer Zahl angestellt. Empfehlenswerte Objekte für plasmol.-volum. Versuche sind nach meinen Erfahrungen z. B. folgende:

Algen: *Spirogyra longata, Weberi,* besonders *nitida:* ausgezeichnet durch den oft außerordentlich gleichmäßigen Grad der Plasmolyse in gleichlangen Zellen eines Fadens; Berechnung für *G* sehr bequem, da die Menisci genau halbkugelig. [4] Protoplasmakorrektur nicht zu vernachlässigen. — *Mougeotia*-Arten: Sie eignen sich insofern noch besser als *Spirogyra* zu allgemein

[3] Vgl. übrigens 9*d*; der Versuch war über 24 Stunden ausgedehnt.

[4] An *Spirogyra* hat Lepeschkin (1908, 1909), wie erwähnt, die ersten Volumbestimmungen für plasmol. Protoplaste überhaupt ausgeführt.

plasmolytischen Versuchen, als die linsenförmigen Hohlräume zwischen den Zellquerwänden im turgeszenten Zustand schmal, im entspannten breit sind und so gewissermaßen einen Indikator für die Turgeszenz abgeben (vgl. die Abb. bei Benecke, 1898, p. 458).

Mikrospora bombycina, Oedogonium sp., *Bulbochaete* sp.

Laubmoose:[1] Blätter von *Bryum capillare, Phascum cuspidatum, Funaria hygrometriea, Physcomitrium pyriforme* u. a. — Vielfach sind wenigstens die rektangulären Zellen des Blattgrundes meßbar; bei den meisten akrokarpen Moosen zumindest die gestreckten zylindrischen »Bauchzellen“ des Mittelnervs. — Viele Pleurocarpe zeigten Absonderheiten.

Lebermoose: *Diplophyllum albicans*, Zellen des Mittelstreifs des Blattes. Sehr schöne Objekte sind die zarten Sporogonstiele vieler *Jungermaniaceae* nach der Streckung (z. B. *Lophocolea heterophylla*).

Blütenpflanzen: Wohl jedes Blatt, jeder Stengel, jede Wurzel bietet brauchbare Zellen. In krautigen Stengeln sind meist gestreckte Markzellen zur Messung gut geeignet, besonders die in der Nachbarschaft des Stranggewebes gelegenen; schön sind viele »Stärkescheiden«. In Blättern lassen sich gewöhnlich die gestreckten Epidermiszellen oben und unten an den Blattnerven verwenden, ferner die parenchymatischen Scheidenzellen der Bündel etc. — Korollröhren sympetaler Blüten: *Gentiana Sturmiana, Euphrasia, Lamium purpureum* u. v. a.

Schöne Schauobjekte fand ich in der anthokyanreichen, subepidermalen Rindenschicht vom Blütenschaft verschiedener Liliaceen (*Anthericum ramosum, Erythronium dens canis*..).

Allium Cepa: untere Epidermis der Zwiebelschuppen; nur vereinzelte Zellen haben annähernd regelmäßige Zylinderform.

Elodea: Zellen der lamina; in die langgestreckten Nervzellen scheint die Lösung bisweilen schwer einzudringen.

In den meisten Fällen fand ich bei sorgfältiger und dem Objekt entsprechender Versuchsanstellung das Gesetz von der Proportionalität im Grad der Plasmolyse im Großteil der Zellen bestätigt. Nur fällt oft in stärkeren Lösungen die endgültige Plasmolyse etwas schwächer aus, als nach der einfachen Proportionalität zu erwarten, und gibt also zu hohe osmotische Werte; das erklärt sich nach § 5 aus dem Einfluß des plasmatischen Wandbeleges und bedeutet nichts Abnormales und keine Beschränkung in der Anwendbarkeit unserer Methode.

Außerdem begegnen aber auch echte Abnormalitäten in großer Zahl. Pathologische Permeabilitätserhöhung des Protoplasmas infolge von Schädigung ist hier am häufigsten. Doch nicht alle Abweichungen lassen sich in diese Kategorie stellen.

Es wird in § 10 unsere Aufgabe sein, die häufigeren Formen abnormaler Plasmolyse, die für osmotische Wertung nicht verwendet werden dürfen, zu charakterisieren. Vorher noch müssen wir uns im § 9 mit unseren Versuchszellen und dem Verlauf und den Formen normaler Plasmolyse etwas näher beschäftigen, um womöglich einen provisorischen Überblick der plasmolytischen Erscheinungen in Rohrzucker zu gewinnen. Daraus soll sich ein Urteil über Umfang und Grenzen der Anwendbarkeit unserer Methode für direkte osmotische Wertbestimmung ergeben.

Daß die plasmolytisch-volumetrische Methode, bei richtiger Anwendung, brauchbare Resultate zu liefern imstande ist, das haben die Stufenversuche dieses Paragraphen, wie ich hoffe, wohl bewiesen.

---

[1] Nur wassergesättigte, von dem Plasmolysieren in H_2O eingelegte Moosblätter geben zuverlässig proportionale Plasmolyse. Halbtrockene und lufttrockene lebende Moozellen verhalten sich ganz abweichend, wie zuerst in Holle's schöner Arbeit (1915, p. 106 f.) gezeigt wurde. Gleiches hatte ich in grenzplasmol. Versuchen im Winter 1914/15 beobachtet, und zwar an *Byrum capillare*: Trockene, sieben Monate im Herbar gelegene Stämmchen zeigten, nachdem sie aufgeweicht, normale und gleichstarke Plasmolyse wie im frischen Zustande (Grenzwert 0·26—0·30 GM KNO_3). Trocken in halbnormale oder normale KNO_3-Lösung eingelegt, quollen sie ganz ohne Plasmolyse, wobei viele Zellen am Leben blieben. Blätter solcher Stämmchen, nachträglich in H_2O und dann wieder zurück in KNO_3 gebracht, gaben nun Plasmolyse, doch in schwächerem Grade als direkt plasmolysierte. Das bestätigt Holle's Erfahrungen vollständig. — Ursprung und Blum (1916*c*, p. 136) haben für *Funaria* beim Eintrocknen rasches Ansteigen der plasmolytischen Grenzkonzentration beobachtet. Ich glaube nicht, daß daraus schon eindeutig auf Zunahme des osmot. Wertes geschlossen werden kann, da doch wohl auch die Permeabilitätsverhältnisse und besonders die Plastizität eintrocknender Plasmas sich ändern. Eine Analyse der genannten Erscheinungen auf plasmol-volum. Weg wird vielleicht zu interessanten Aufschlüssen führen. — Bender findet in seiner jüngst erschienenen Arbeit (Der osmot. Druck in den Zellen der Moose«, 1916, p. 8, 65), daß Eintrocknen bei vielen Moozellen eine irreversible Permeabilitätszunahme für KNO_3 bewirke.

§ 9. Weitere Versuche an Grundgewebszellen von Tradescantia guianensis.

Es erschien geboten, das Material für die maßgebenden Stufenversuche des vorigen Paragraphen, die randständigen Grundgewebszellen aus dem Stengel von *Tr. guianensis*, nach verschiedener Richtung so eingehend wie möglich zu studieren. Im folgenden will ich nun eine kleine Auswahl meiner plasmolytisch-volumetrischen Versuche an diesem Objekt vorführen, soweit sie entweder wichtige Gesichtspunkte bezüglich einer kritischen Handhabung unserer Methode zur osmotischen Wertbestimmung abgeben oder sonst neu und mitteilenswert erschienen. — Wir beschränken uns auf die Erfahrungen an normalen gesunden Protoplasten und versparen alle abnormalen, an geschädigten Protoplasten beobachteten Erscheinungen auf den nächsten Paragraphen.

a) Eintretende und endgültige Plasmolyse.

Als eine wichtige Vorfrage war zu entscheiden, nach wie langer Zeit der Grad der Plasmolyse abgelesen werden soll. Bezüglich der grenzplasmolytischen Methode gehen da die Angaben der Autoren auseinander.[1] — Bei unserer Methode wird die Entscheidung durch den Umstand erleichtert, daß endgültige Plasmolyse sich schon durch ihre äußere Gestalt als solche kundgibt.

Bringt man frischgeschnittene Stengellängsschnitte von *Tradescantia* ohne vorangehendes Verweilen in H_2O direkt in die hypertonische Rohrzuckerlösung, so erfolgt der Eintritt der Plasmolyse sehr langsam. Er vollzieht sich in der gewöhnlichen Art. Das Protoplasma hebt sich an den Ecken und den Seitenwänden an einigen, meist gar nicht zahlreichen Stellen ab. Es kehrt hierbei den Zellwänden konkave Flächen zu. In die durch diese und die Zellwand begrenzten Räume dringt Außenlösung ein, sie allmählich vergrößernd. Die Konturen des Protoplasten bleiben dabei konkav nach außen (Tafel II, Abb. 9). Schuld ist offensichtlich die stellenweise Adhäsion des Protoplasten an der Zellwand, deren Überwindung Schwierigkeit bereitet. Gelegentlich beobachtet man zwischen Plasma und Wand die bekannten Protoplasmafäden,[2] deren Masse, nebenbei bemerkt, wenigstens in Rohrzucker, für unsere Berechnung stets ganz und gar vernachlässigt werden darf. Die benachbarten konkaven Buchten werden oft sehr tief, bis endlich auch das zwischenliegende, zuletzt pfeilerartige Stück des Protoplasten von der Wand losgelöst wird (Taf. II, 10); es zeigt dies, wie groß im Anfang die Adhäsionskraft im Vergleich gegen die aktive Oberflächenkraft des Protoplasmas ist.

Endlich hat sich der Protoplast so weit verkleinert, daß die Außenlösung ihm kein Wasser mehr entzieht, und hat somit endgültige Größe erreicht. Seine Gestalt braucht jedoch in diesem Zeitpunkt noch nicht endgültig zu sein. Besonders adhäriert er oft noch in der Mitte der Querwand (vielleicht erschweren an dieser Stelle Tüpfel und Plasmakommunikationen die Ablösung). Oder unüberwundene Adhäsion an den Seitenwänden bewirkt, daß die freie Oberfläche des Protoplasten noch schwach konkav oder flach ist. In gewissen Fällen, vor allem in schwachhypertonischen Lösungen, bleibt die Adhäsion eine dauernde und nur die freien Oberflächenteile können relative, konkave oder konvexe Minimumsflächen annehmen. In der großen Mehrzahl der Fälle aber, so stets bei unserem Objekt, wenn es in hinreichend starkem Grad in Rohrzucker plasmolysiert worden ist, erreichen die Protoplaste als endgültige Gestalt die Minimumsoberfläche freier Flüssigkeiten, konvexe, gleichmäßig gekrümmte Kugelflächen oder Kugelkappenflächen. Vom Einlegen bis zur Erreichung dieser »Endplasmolyse« nach Größe und Form können 4 bis 5 Stunden vergehen.

Es ist nun für die plasmolytisch-volumetrische Methode von prinzipieller Wichtigkeit, daß zur Bestimmung der Werte offenbar nur endgültig plasmolysierte Protoplaste zu verwenden sind; endgültig der Größe nach, sonst darf aus dem Grad der Plasmolyse nicht auf den osmotischen Wert geschlossen werden, der Form nach, sonst ist die Volumbestimmung undurchführbar. Mit Rücksicht darauf dürfte sich an dieser Stelle eine ganz allgemeine »morphologische« Einteilung des Bildes der Plasmolyse empfehlen (wobei »abnormale« und »Absterbeformen« noch ausgeschlossen bleiben sollen). Die folgende Einteilung bezieht sich naturgemäß nicht nur auf unser Versuchsobjekt, sondern auf beliebige Protoplaste; ferner nicht bloß auf Rohrzucker, sondern auch auf die durch andere unschädliche Plasmolytika bewirkten Erscheinungsformen der Plasmolyse.

---

[1] Fitting's eben (1917) erschienene Arbeit: »Untersuchungen über isotonische Koeffizienten....« wurde mir erst nach Manuskriptschluß zugänglich und konnte leider nicht mehr berücksichtigt werden; vgl. dort bes. p. 557 f.

[2] Vgl. Hecht (1912). Dort Beschreibung der Vorgänge beim Eintritt der Plasmolyse, bes. ausführliche Literaturübersicht.

Es ergeben sich zwei Gegensätze. Einmal

1. Eintretende (= imperfekte) Plasmolyse, und

2. endgültige (= perfekte) Plasmolyse. Anderseits:

1. Konkave Plasmolyse, solange infolge stellenweiser Adhäsion der Protoplast nach außen konkave Flächen kehrt, und

2. konvexe Plasmolyse, wenn er konvex (vorzüglich kugelig) nach außen begrenzt ist.

Durch Kreuzung beider Einteilungsprinzipien folgen vier Hauptformen normaler Plasmolyse:

1. Eintretende konkave (Taf. II, 9, 10),
2. eintretende konvexe,
3. endgültig konkave,
4. endgültig konvexe Plasmolyse (Taf. I, 1—8).

Diese letzte ist es, die allein für plasmolytisch-volumetrische Größenbestimmung sich eignet. Ich bezeichne sie als Endplasmolyse oder, für den Gebrauch in Protokollen u. dgl., mit dem Buchstaben *v* (vollkommene Plasmolyse).

Eintretende Plasmolyse ist meist konkav. Sie kann zur konkaven oder konvexen endgültigen Plasmolyse (von denen, wie gesagt, nur letztere »Endplasmolyse« heißen soll) führen. In Rohrzucker wird meist die konvexe Endform erreicht.

Daß schon während des Eintritts der Plasmolyse die Protoplaste durch konvexe Fläche nach außen begrenzt werden (also »konvexe eintretende« Plasmolyse) und daß sie zudem von Beginn an kugelige Rundung zeigen, gehört entschieden zu den Ausnahmsfällen. Ich habe derartiges nur gelegentlich bei vereinzelten Objekten beobachtet, so bei *Mougeotia*-Zellen, wo das Plasmolytikum von der Seite der linsenförmigen Hohlräume, die zwischen den Querwänden liegen, her eindringt. Es ist hier der allmählich zunehmende Grad der eintretenden Plasmolyse in jedem Moment meßbar. Solche Fälle verdienen vielleicht ein gewisses Interesse, insofern sie die Geschwindigkeit des Eintritts der Plasmolyse, die ja bekanntlich zum Beispiel für KNO_3 weit größer ist als für Rohrzucker, für verschiedene Plasmolytika nach der plasmol.-vol. Methode zu bestimmen erlauben werden.

Für die meisten Objekte wird dagegen erst die endgültige Plasmolyse konvex. Kugelförmige Begrenzungsflächen der Protoplastenmenisci sind dann ein bequemes Kennzeichen dafür, daß wirkliche, zu gültiger Berechnung des osmotischen Wertes geeignete »Endplasmolyse«, der Gestalt wie auch der Größe nach, erreicht ist.[1]

b) Absolute Höhe des osmotischen Wertes.

Wie weit diese in den Zellen einer Längsseite übereinstimmt, haben unsere Versuche 5 und 7 gezeigt. Die Mittelwerte für korrespondierende Zellen verschiedener *Tradescantia*-Stämmchen (in gleicher Höhe untersucht) sind meist noch ähnlicher. Sie sind im Winter bedeutend höher als im Sommer, und zwar z. B. 0·235 bis 0·25 GM Rohrz. im Jänner, Februar, 0·16 bis 0·18 GM im Mai, Juni. Ähnliches haben Lidforss (1907), Winkler (1913), Ursprung und Blum (1916 *b*) an anderen Pflanzen beobachtet. — In den äußersten, schmalen, an das Stranggewebe grenzenden Markzellen fand ich den Wert meist um 0·01 bis 0·02 GM Rohrz. höher als in den breiteren, die ein paar Reihen nach innen liegen, z. B.

---

[1] Die erste Unterscheidung zwischen eintretender und endgültiger Plasmolyse ist eine prinzipielle; die zweite, zwischen konkaver und konvexer hingegen nur eine graduelle, indem es Zwischenformen, ebene oder ganz schwach konkave Konturierung des Protoplasten geben kann. Konvexe und doch ungleichmäßig gekrümmte Flächen sind übrigens meist nur ein kurzdauerndes Übergangsstadium. Als »Endplasmolyse« und mit dem Buchstaben *v* bezeichne ich nun aber nur die Form solcher Protoplaste, die nicht nur konvex, sondern auch gleichmäßig kugelig gerundet und zudem in ihrer Oberfläche frei sind, das heißt die Zellquerwände nicht berühren.

Unser Terminus »eintretende« (»imperfekte«) Plasmolyse ist nicht dasselbe wie »beginnende« Plasmolyse; so nennt man ja bisher vielfach auch die endgültige, doch sehr schwache, eben nur wahrnehmbare »Grenzplasmolyse«.

Versuch 9. 19./V. 1916.

0·30 GM Rohrz.: Randständige Markzellen, 12' breit: $G = 0·623$, 0·641, 0·64·6, 0·657, 0·633; — $G_{30} = 0·640$, $O_{30} = 0·192$;
Markzellen, 4 Reihen nach innen, 22—23' breit: $G = 0·614$, 0·578, 0·573, 0·579, 0·600; — $G_{30} = 0·589$, $O_{30} = 0·177$.

Die innersten, breiten, kurzen Markzellen zeigen noch niederere Werte, sind aber wegen ihrer Form sehlecht meßbar.

c) Über mögliche Exosmose und Osmoregulation. Sollen die Präparate vor dem Plasmolysieren gewässert werden?

Meßbare Endplasmolyse tritt, wie erwähnt, in frischgeschnittenen Längsschnitten aus *Tradescantia*-Stengeln erst nach mehreren Stunden ein. Ist es nun geboten, nach dem Perfektwerden den Grad der Plasmolyse möglichst rasch abzulesen oder bleibt G weiterhin unverändert?

In der Literatur wird angegeben, daß die Plasmolyse in Rohrzucker lange Zeit konstant bleibt. Ich fand diesen Satz bestätigt. Wenn Protoplaste nach 4 bis 5 und wieder nach 12 bis 15 Stunden gemessen werden, zeigen sich meist keine oder keine nennenswerten Unterschiede. Die Endplasmolyse wird nur bei längerer Dauer vielfach noch schöner.

Ich habe daher sehr oft, so auch bei den im vorigen mitgeteilten Stufenversuchen die Präparate am Vorabend des Versuchstages in die erste plasmol. Rohrzuckerlösung eingetragen und den hier erreichten Grad der Pl. erst nach 12 bis 15 Stunden abgelesen. Beim stärkeren Plasmolysieren in konzentrierteren Lösungen langen dann je $1^1/_2$ bis 2 Stunden zur Einstellung aufs neue Gleichgewicht reichlich aus.

Das stundenlange Konstantbleiben zeigt, daß zumindest vom Eintritt der Endplasmolyse angefangen das gesunde Protoplasma weitgehende Impermeabilität für Zellsaftstoffe und Rohrzucker besitzt.

Dürfen wir aber deswegen auch schon annehmen, daß der osmotische Wert der endplasmolysierten Zelle dem ursprünglichen Wert der unplasmolysierten entspannten Zelle ganz gleich ist? Könnten nicht während des Eintrittes der Plasmolyse Änderungen stattgefunden haben? — Als Faktoren, die solche Änderung veranlassen, und zwar den Anfangswert vergrößern würden, könnten in Betracht kommen: Eindringen des Plasmolytikums während der ersten Stunden der Plasmolyse und regulatorische Erhöhung des osmotischen Wertes; als Faktoren, die eine Abnahme bewirkten: Exosmose von Zellsaftstoffen und regulatorische Verminderung.

Von diesen vier störenden Faktoren ist der erste, Eindringen des Plasmolytikums, für Rohrzucker wohl am wenigsten zu befürchten. Für die anderen war eine experimentelle Prüfung erwünscht.

Fitting (1915, p. 11 bis 13) hat für die Epidermis von *Rhoeo discolor*, wenn Schnitte einige Stunden in H_2O oder Rohrzuckerlösungen lagen, eine geringe Abnahme des plasmolytischen Grenzwertes beobachtet und durch Exosmose der leichtest diffusiblen Zellsaftstoffe erklärt; da nach seinen Untersuchungen die Hauptmenge der exosmierenden Substanzen nach etwa vier Stunden herausdiffundiert ist und bei mir die erste Ablesung, wie erwähnt, ehestens nach etwa der gleichen Zeit erfolgen konnte, so war — trotz der beobachteten Konstanz der Endplasmolyse — eine gleiche Exosmose auch für mein Objekt sehr gut möglich.

Nach Fitting's Beispiel brachte ich gleiche, benachbarte Schnitte einmal direkt, andrerseits nach längerem Aufenthalte in H_2O, in die plasmol. Rohrzuckerlösungen:

Versuch 10. 1. bis 3./II. 1916.

(Ein Vorversuch.) Aus zwei benachbarten Stücken desselben Internodiums wurden 6 gleiche Längsschnitte hergestellt; drei kamen unmittelbar in 0·30, 0·35, 0·40 GM Rohrz. (Serie *A*), die drei andern erst 48 Stunden in dest. H_2O, dann in die Lösungen (Serie *B*). Plasmolyse jedesmal nach 5 Stunden abgelesen.

Serie *A*, Schnitt 1. 0·30 GM: $G = 0·84$, 0·83, 0·83, 0·80, 0·81, 0·84, 0·83; — $G_{30} = 0·826$, $O_{30} = 0·248$ GM.

Schnitt 2. 0·35 GM: $G = 0·68$, 0·67, 0·70, 0·73 (0·78 adhär.), 0·73; — $G_{35} = 0·70_8$, $O_{35} = 0·24_8$ GM.

Schnitt 3. 0·40 GM: $G = 0·55$, 0·58, 0·59, 0·58, 0·57, 0·57, 0·60, 0·59; — $G_{40} = 0·58$, $O_{40} = 0·23_2$ GM.

Serie *B*. Schnitt 1. 0·30 GM[1]: $G = (0·45)$, 0·59, 0·53, 0·50, 0·52, 0·55; — $G_{30} = 0·53_7$, $O_{30} = 0·16_1$ GM.)

Schnitt 2. 0·35 GM: $G = 0·58$, 0·55, 0·54, 0·54, 0·56; — $G_{35} = 0·55_7$, $O_{35} = 0·19_4$ GM.

Schnitt 3. 0·40 GM: $G = 0·50$, $0·53_5$, 0·50, $0·49_5$, 0·50; — $G_{40} = 0·50_6$, $O_{40} = 0·20_2$ GM.

Versuch 11. 16 bis 18./II. 1916.

Von drei gleichen benachbarten Schnitten kam Schnitt *A* nach dem Schneiden, *B* nach 24stündigem, *C* nach 48stündigem Aufenthalt in H_2O in die Lösungen. Mit jedem Schnitt wurde ein Stufenversuch durchgeführt. Je 5—10 Zellen gemessen.

Resultat:

Schnitt *A*	$G_{30} = 0·83_3$	$G_{35} = 0·72_1$
	$O_{30} = 0·25_0$ GM	$O_{35} = 0·25_2$ GM.
Schnitt *B*	$G_{30} = 0·67_5$	$G_{35} = 0·60_3$
	$O_{30} = 0·20_3$ GM	$O_{35} = 0·21_1$ GM
Schnitt *C*	$G_{25} = 0·81_6$	$G_{30} = 0·69_7$
	$O_{25} = 0·20_4$ GM.	$O_{30} = 0·20_9$ GM.

Versuch 12. 16. bis 17./III. 1916.

Ein grenzplasmolytischer Versuch, wie V. 18—19 in § 9*e*, Schnitte der Serie *A* direkt plasmolysiert, ein gleicher Schnitt *B* ers. 24 Stunden in H_2O, dann in 0·25 GM plasmolysiert.

Serie *A*.[2] Schnitt 1. 0·29 GM: $G = 0·82_5$, 0·81, $0·78_5$, 0·78, $0·80_5$; — $G_{29} = 0·80_0$, $O_{29} = 0·23_2$ GM.

Schnitt 2. 0·28 GM: $G = 0·79$, 0·82, $0·80_5$, 0·79, 0·82; — $G_{28} = 0·80_5$, $O_{28} = 0·22_5$ GM.

Schnitt 3. 0·27 GM: $G_{27} = 0·83_5$, $O_{27} = 0·22_6$ GM.

Schnitt 4. 0·26 GM: $G_{26} = 0·86_3$, $O_{26} = 0·22_6$ GM.

Plasmolytische Grenze war zirka 0·23—0·24 GM Rohrz. (vgl. § 9*e*, p. 49 [147]).

Schnitt *B*.[3] 0·25 GM: $G = 0·79_5$, 0·71, 0·74, 0·69, $0·76_5$, $0·69_5$, $0·68_5$, 0·71; — $G_{25} = 0·72_4$, $O_{25} = 0·18_1$ GM Rohrz.

Durch 24 bis 48stündiges Verweilen der Schnitte in H_2O sinkt also der osmotische Wert ganz beträchtlich! — In Versuch 10 ist in den gewässerten Schnitten $O_{35} = 0·19_1$, $O_{40} = 0·20_2$ GM Rohrz., in den direkt plasmolysierten sind die O-Werte $0·24_8$, $0·24_8$, $0·23_2$ GM; in Versuch 11 ist O in ganz gleichen Schnitten 0·20—0·21 GM gegen 0·25 GM; in Versuch 12 0·18 GM gegen $0·22_5$—$0·23_2$ GM. Der Verlust ist zirka $\frac{1}{6}$ des Anfangswertes. Mehrere während der Wintermonate vorgenommene Versuche zeigten Gleiches. In Versuch 11 brachte längerer Aufenthalt in H_2O durch weitere 24 Stunden keine neuerliche Abnahme.[4]

Interessant war das weitere Verhalten der direkt plasmolysierten Schnitte *A*; sie blieben in den Rohrzuckerlösungen und wurden nach 24 Stunden wieder untersucht. In ihnen war der osmot. Wert

---

1 Der ungleichmäßige Grad der Plasmolyse deutet an, daß der Schnitt 1 geschädigt war; vielleicht herrscht pathologisch erhöhte Permeabilität. Vgl. 10*a*.

2 Adhärierende Protoplaste, die noch schwächere Plasmolyse zeigten, wurden von der Wertbestimmung ausgeschlossen.

3 Der Grad der Plasmolyse ist also in dem lange gewässerten Schnitt etwas ungleichmäßig.

4 Auch kürzeres Wässern durch einige Stunden bewirkt Wertabnahme. Die Abhängigkeit des Wertverlustes von der Dauer der Wässerung habe ich noch nicht untersucht.

nicht gesunken. Daß die in H_2O zu beobachtende Wertabnahme in Rohrzucker nicht stattfindet, haben dann auch zahlreiche Konstanzversuche, in denen der Grad der Plasmolyse an aufeinanderfolgenden Tagen verglichen wurde, gezeigt.

Wie sollen wir nun dieses Versuchsresultat deuten?

Das Sinken des Wertes beim Wässern muß entweder durch Exosmose oder durch Osmoregulation im weitesten Sinne, das ist chemische Umsetzung osmotisch wirksamer Substanz in minder wirksame, bedingt sein.[1] Der Wertverlust trat nur in H_2O, nicht in hypertonischer Lösung ein, das scheint zugunsten der Regulation und gegen Exomose zu sprechen, man müßte denn die wenig wahrscheinliche Annahme einer Exosmose machen, die nur in umgebendes H_2O hinaus stattfindet, in Rohrzucker aber unterbleibt. Wie verbreitet osmotische Wertänderungen an erwachsenen Zellen sind, das haben zudem jüngst die ausgedehnten Versuche von Ursprung und Blum (1916*b, c*) bewiesen. —

Eine wichtige Erfahrung, die ich bei den besprochenen Versuchen zuerst machte und später stets bestätigt fand, ist folgende:

An Schnitten, die vor dem Plasmolysieren gewässert wurden, erfolgt die Ablösung des Plasmas von der Zellwand viel leichter und wird schöne »Endplasmolyse« viel schneller erreicht als in ungewässerten Präparaten. Die Adhäsion scheint leichter überwunden zu werden. Das gilt, wie ich einschalten darf, nicht nur für Rohrzucker, sondern ebenso für andere Plasmolytika. Bei Objekten welche, direkt plasmolysiert, nur konkave Plasmolyse geben, kann man durch vorangehendes Einlegen in H_2O schöne »vollkommene« Endplasmolyse erzielen.

Kehren wir zur ersten Frage zurück: Wenn beim Wässern der Wert sinkt, sollen wir deshalb bei unserem Objekt befürchten, daß an ungewässerten, direkt plasmolysierten Präparaten der osmot. Wert nach dem späten Eintritt der Endplasmolyse nicht mehr der ursprüngliche sei?

Die beiden Erscheinungen, die Fitting als erster an *Rhoeo discolor* grenzplasmolytisch festgestellt hat (1915, p. 10—13) — das späte Erreichen des plasmolytischen Endzustandes an ungewässerten Präparaten und das Sinken des Wertes beim Wässern — habe ich an meinem Objekt wieder gefunden. Fitting nimmt nun Exosmose an, weil der plasmolytische Grenzwert sowohl in H_2O wie in Rohrzucker sank. Da bei mir der an gewässerten Präparaten beobachtete Wertverlust die direkt plasmolysierten nicht betraf, so glaube ich für diese letzteren Exosmose nicht annehmen zu müssen. — Andrerseits läßt sich nach der plasmol.-vol. Methode unmittelbar an der Protoplastenform erkennen, daß in den ungewässerten Zellen wirklich die Endplasmolyse erst so spät erreicht wird. (Ein solches Kriterium für Endplasmolyse gibt es ja bei der grenzplasmolytischen Methode nicht.) Ich möchte nun vermutungsweise auf die Möglichkeit hinweisen, daß dieser Faktor vielleicht auch bei Fitting's Versuchen beteiligt gewesen und das späte Stillestehen der Grenzplasmolyse in ungewässerten Schnitten mit verursacht haben könnte — auch die erste Plasmaablösung erfolgt nämlich in ungewässerten Schnitten viel träger.

Nach all dem müssen wir zwar einen kleinen Nachteil der plasmol.-vol. Methode darin sehen, daß die Messung in Rohrzucker erst nach 4—5 Stunden möglich wird, denn es könnten ja geringe Stoffmengen in den ersten Stunden exosmiert sein. Es liegt aber zur Zeit, wenn ich recht sehe, kein Verdachtsgrund vor, der eine solche Exosmose wahrscheinlich machte. — Ein Nachteil gegenüber der grenzplasmolytischen Methode besteht insoferne nicht, als ja dort, wenn die Plasmolyse an ungewässerten Schnitten nach kürzerer Zeit beurteilt wird, nicht so sicher zu entscheiden ist, ob der endgültige Gleichgewichtszustand wirklich schon erreicht ist oder nicht.

Ziehen wir die methodischen Konsequenzen:

1. Handelt es sich um genaueste Messung ursprünglicher, absoluter osmotischer Werte, so sind die Präparate direkt nach dem Schneiden, ohne vorheriges Wässern, oder höchstens nach kurzem Wässern, zu plasmolysieren, wobei der Gleichgewichtszustand freilich später erreicht wird.

2. Für alle sonstigen plasmolytischen Versuche empfieht es sich, die Präparate vor dem Plasmolysieren erst in H_2O zu legen, wie es Fitting bei seinen Permeabilitätsversuchen tat. Endplasmolyse tritt dann schneller und schöner ein. Der so gefundene osmotische Wert darf aber ohne Kontrolle dem ungewässerten Schnitte nicht gleichgesetzt werden.

(Fortsetzung des Textes siehe p. 47 [145].

---

[1] Die Wassersättigung an sich kann natürlich das Sinken nicht direkt bewirken. In H_2O wird zwar zunächst die Turgordehnung erhöht und der Zellsaft verdünnt, doch wird dies beides ja vor Eintritt der Plasmolyse rückgängig gemacht. Denn der gemessene osmotische Wert bezieht sich ja immer auf die entspannte Zelle.

(Konstanzversuche, siehe § 9 *d*, p. 47 [145].)

Versuch 13. 4. bis 5./VII. 1916.

Stengellängsschnitt von *Trad. guianensis*, am 3./VII., 7h abends, direkt nach dem Schneiden in 0·30 GM Rohrz. eingelegt:
1. Messung des Grades der Pl. nach 15 Stunden am 4./VII. vorm.; 2. Messung (in derselben Lösung) nach weiteren 24 Stunden am 5./VII.
λ ist überall = 0·4. Die Meniskushöhen *m* bei der 2. Messung unverändert.

C	Zelle	1. Messung				2. Messung	
		$\frac{l}{h}$	2 *m*	*b*	$\frac{l-2\lambda m}{h}=G$	$\frac{l'}{h}$	$\frac{l'-2\lambda m}{h}=G'$
0·30 GM Rohrz.	1.	$\frac{19-64\frac{1}{2}}{85}$	2 × 8	22	$\frac{44\cdot5-6\cdot4}{85}=0\cdot460$	$\frac{18-65\frac{1}{2}}{85}$	$\frac{47-6\cdot4}{85}=0\cdot478$
	2.	$\frac{18\frac{1}{2}-71}{95}$	»	»	$\frac{52\cdot5-6\cdot4}{95}=0\cdot485$	$\frac{17-70}{95}$	$\frac{53-6\cdot4}{95}=0\cdot490$
	3.	$\frac{32\frac{1}{4}-80}{93}$	»	»	$\frac{47\cdot8-6\cdot4}{93}=0\cdot445$	$\frac{32-81}{93}$	$\frac{49-6\cdot4}{93}=0\cdot458$
	4.	$\frac{32-96}{118}$	»	»	$\frac{64-6\cdot4}{118}=0\cdot495$	$\frac{36-100}{118}$	$\frac{64-6\cdot4}{118}=0\cdot490$
	5.	$\frac{48-114\frac{1}{2}}{130}$	»	23	$\frac{66\cdot5-6\cdot4}{130}=0\cdot462$	tot	
	6.	$\frac{16\frac{1}{2}-55}{70}$	»	»	$\frac{38\cdot5-6\cdot4}{70}=0\cdot458$	$\frac{14-55}{70}$	$\frac{41-6\cdot4}{70}=0\cdot491$
	7.	$\frac{12-49}{64}$	»	21	$\frac{37-6\cdot4}{64}=0\cdot467$	$\frac{12-52}{64}$	$\frac{40-6\cdot4}{64}=0\cdot525$

0·30 GM Rohrz.	8.	$\frac{13-50\frac{1}{2}}{67}$	»	»	$\frac{37{\cdot}5-6{\cdot}4}{67}=0{\cdot}461$	$\frac{14-52}{67}$	$\frac{38-6{\cdot}4}{67}=0{\cdot}472$
	9.	$\frac{31-90\frac{1}{2}}{112}$	»	»	$\frac{59{\cdot}5-6{\cdot}4}{112}=0{\cdot}474$	$\frac{28-91}{112}$	$\frac{63-6{\cdot}4}{112}=0{\cdot}505$
	10.	$\frac{28\frac{1}{2}-84\frac{1}{2}}{108\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{56-6{\cdot}4}{108{\cdot}5}=0{\cdot}458$	$\frac{27-87}{108\frac{1}{2}}$	$\frac{60-6{\cdot}4}{108{\cdot}5}=0{\cdot}491$
	11.	$\frac{4-51\frac{1}{2}}{89}$	»	»	$\frac{47{\cdot}5-6{\cdot}4}{89}=0{\cdot}462$	$\frac{9-56}{89}$	$\frac{47-6{\cdot}4}{89}=0{\cdot}456$
	12.	$\frac{17\frac{1}{2}-69}{96}$	»	»	$\frac{51{\cdot}5-6{\cdot}4}{96}=0{\cdot}470$	tot	
	13.	$\frac{31-92}{109}$	»	»	$\frac{61-6{\cdot}4}{109}=0{\cdot}500$	$\frac{29-92}{109}$	$\frac{62-6{\cdot}4}{109}=0{\cdot}510$
	14.	$\frac{30-89\frac{1}{2}}{106}$	»	»	$\frac{59{\cdot}5-6{\cdot}4}{106}=0{\cdot}501$	$\frac{32-93}{106}$	$\frac{61-6{\cdot}4}{106}=0{\cdot}515$
	15.	$\frac{0-53}{92}$	8 + (5)	»	$\frac{53-5{\cdot}2}{92}=0{\cdot}519$	$\frac{1-57\frac{1}{2}}{92}$	$\frac{56{\cdot}5-6{\cdot}4}{92}=0{\cdot}541$
	16.	$\frac{25-72}{88}$	2 × 8	»	$\frac{47-6{\cdot}4}{88}=0{\cdot}461$	$\frac{25-73}{88}$	$\frac{48-6{\cdot}4}{88}=0{\cdot}475$
					$G_{30}=0{\cdot}473$ $O_I=0{\cdot}142$		$G'_{30}=0{\cdot}493$ $O_{II}=0{\cdot}148$

Versuch 14. 5. bis 6./VII. 1916.

Wie oben; Zelle 1—5 aus der ersten, 6—11 aus der zweiten Grundgewebsreihe vom Gefäßbündel nach innen. Direkt ohne Wässern in 0·30 GM Rohrz. eingelegt am 5./VII., 11h30 vorm.; erste Messung 6h abends, zweite Messung 6./VII. 11h30 vorm. $\lambda = 0 \cdot 4$.

C	Zelle	1. Messung				2. Messung	
		$\frac{l}{h}$	$2\,m$	b	$\frac{l-2\lambda m}{h} = G$	$\frac{l'}{h}$	$\frac{l'-2\lambda m}{h} = G'$
0·30 GM Rohrz.	1.	$\frac{28-71}{98}$	2×7	18	$\frac{43-5\cdot6}{98} = 0\cdot382$	$\frac{23-66\frac{1}{2}}{98}$	$\frac{43\cdot5-5\cdot6}{98} = 0\cdot388$
	2.	$\frac{35-86}{115}$	»	»	$\frac{51-5\cdot6}{115} = 0\cdot395$	$\frac{32-85}{115}$	$\frac{53-5\cdot6}{115} = 0\cdot412$
	3.	$\frac{19-65\frac{1}{2}}{105}$	»	»	$\frac{46\cdot5-5\cdot6}{105} = 0\cdot389$	$\frac{18-67}{105}$	$\frac{49-5\cdot6}{105} = 0\cdot413$
	4.	$\frac{10\frac{1}{2}-57}{102}$	»	18—20	$\frac{46\cdot5-5\cdot6}{102} = 0\cdot401$	$\frac{27-72\frac{1}{2}}{102}$	[1]
	5.	$\frac{6-36}{65\frac{1}{2}}$	»	18	$\frac{30-5\cdot6}{65\cdot5} = 0\cdot373$	$\frac{2\frac{1}{2}-34}{65\frac{1}{2}}$	$\frac{31\cdot5-5\cdot6}{65\cdot5} = 0\cdot395$
	6.	$\frac{11-40}{57}$	2×6	15	$\frac{29-4\cdot8}{57} = 0\cdot424$	$\frac{29-56\frac{1}{2}}{57}$ [1]	$\frac{27\cdot5-4\cdot8}{57} = (0\cdot398)$
	7.	$\frac{23\frac{1}{2}-60}{78}$	»	»	$\frac{36\cdot5-4\cdot8}{78} = 0\cdot406$	$\frac{3-39}{78}$ [1]	$\frac{36-4\cdot8}{78} = 0\cdot413$
	8.	$\frac{21-51\frac{1}{2}}{67}$	»	»	$\frac{30\cdot5-4\cdot8}{67} = 0\cdot386$	$\frac{17-50}{67}$	$\frac{33-4\cdot8}{67} = 0\cdot421$
	9.	$\frac{23-62}{89}$	«	»	$\frac{39-4\cdot8}{89} = 0\cdot384$	$\frac{22-65}{89}$	$\frac{43-4\cdot8}{89} = 0\cdot429$
	10.	$\frac{30-61\frac{1}{2}}{71\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{31\cdot5-4\cdot8}{71\cdot5} = 0\cdot374$	$\frac{28-62\frac{1}{2}}{71\frac{1}{2}}$	$\frac{34\cdot5-4\cdot8}{71\cdot5} = 0\cdot401$
	11.	$\frac{14\frac{1}{2}-45}{67}$	»	»	$\frac{30\cdot5-4\cdot8}{67} = 0\cdot386$	$\frac{12-46}{67}$	$\frac{34-4\cdot8}{67} = 0\cdot436$
					$G_{30} = 0\cdot391$ **$O_I = 0\cdot117$**		**$G'_{30} = 0\cdot410$** **$O_{II} = 0\cdot123$**

[1] Es ist lehrreich, daß sich hier in den endgültig plasmolysierten Zellen die Protoplaste nach langdauernder Plasmolyse so leicht verschieben. Die Adhäsionskraft des Protoplasmas an der Zellwand ist jetzt klein, während des Eintrittes der Plasmolyse war sie groß im Vergleich zur Oberflächenkraft. Ist die Zelle nicht ganz gleich breit, so erfolgt die Verschiebung nach der breiteren Seite hin, wie ja aus Gründen der Oberflächenspannung begreiflich. Vgl. Zelle 6, 7, auch Zelle 4, 8, 11 und 14 in Versuch 13. — Die Volumverkleinerung solcher Protoplaste, die sich verschoben haben, ist dann vielleicht nur eine scheinbare (Zelle 4 und 6, Versuch 14).

d) Bleibt Plasmolyse in Rohrzucker ganz konstant?

Nach dem Perfektwerden erfährt der Grad der Plasmolyse, wie früher erwähnt, in gesunden Protoplasten mehrere Stunden lang keine sichtlichen, auffälligen Änderungen. — Es erschien der Untersuchung wert, ob diese Konstanz der Plasmolyse in Rohrzucker wirklich auch für längere Zeit vollkommen genau erhalten bleibe. — Gelegentliche Kontrollablesungen nach 24 Stunden veranlaßten mich zu systematischen Versuchen in dieser Richtung, über die ich hier kurz vorläufig berichte. Sie ergaben ein interessantes Resultat: Die meisten Protoplaste dehnen sich ein ganz klein wenig aus, etwa um $1^1/_2$ bis 4 Mikrometerstriche in 24 Stunden. Die Unterschiede sind freilich so subtil, daß sie mit früheren Methoden — ohne messende Betrachtung individueller Einzelprotoplaste — kaum hätten wahrgenommen werden können (vgl. Versuche 13 und 14, p. 44 bis 46 [142 bis 144] und die folgenden »Konstanzversuche«).

Versuch 15. 26. bis 28./VI. 1916.

Direkt in 0·30 GM Rohrz., eingelegt am 26./VI. 1h30 nachm.: 1. Messung nach 5 Stunden 6h30 abends. 2. Messung am 27./VI. 1h30 nachm. 3. Messung am 28./VI. 1h nachm. Die in den einzelnen Zellen beobachteten Werte für *G* stehen untereinander. (Die eingeklammerten *G*-Werte bei der 3. Messung bedeuten, daß der Protoplast nicht mehr ganz normal aussah.) Bei einer 4. Messung am 30./VI. war die Plasmolyse meist abnormal.

Zelle	1	2	3	4	5	6
1. Messung, 26./VI.:	G = 0·572	0·570	0·565	0·572	0·58	0·580
2. » 27./VI.:	G' = 0·587	0·595	0·579	0·572	0·581	0·606
3. » 28./VI.:	G'' = (0·62)	(0·64)	0·588	0·583	tot	tot

Zelle	7	8	9	10
Fortsetzung	0·558	0·600	0·600	0·572; — G_{30} = 0·577, O_I = 0·172 GM Rohrz.
	0·574	0·607	0·605	0·593; — G_{30} = 0·590, O_{II} = 0·177 GM Rohrz.
	tot	0·632	0·627	0·593; — G_{30} = 0·604, O_{III} = 0·181 GM Rohrz.

Versuch 16. 26. bis 28./VI. 1916.

Ein ganz gleicher benachbarter Schnitt, wie in Versuch 15, doch vor dem Plasmolysieren $1^3/_4$ Stunden gewässert, 1h30—3h15 dann in 0·30 GM Rohrz., gemessen 7h15; 2. Messung 27./VI., 3h55 nachm. 3. Messung 28./VI. 2h45. — Durch das Wässern ist der osmot. Wert zunächrt auf 0·168 GM Rohrz. (gegen 0·172) gesunken, am nächsten Tag sind die Werte wleder gleich.

Zelle	1	2	3	4	5	6
1. Messung, 26./VI.:	G = 0·568,	0·570	0·584	0·564	0·553	0·566
2. » 27./VI.:	G' = 0·568,	0·603	0·584	0·547	0·600	0·615
3. » 28./VI.:	G'' = 0·576,	abnorm.	0·593	0·582	0·647	0·553

Zelle	7	8
Fortsetzung	0·538	0·540; — G_{30} = 0·560, O_I = 0·168 GM Rohrz.
	0·606	0·610; — G_{30} = 0·591, O_{II} = 0·177 GM Rohrz.
	0·612	0·647; — G_{30} = 0·606, O_{III} = 0·182 GM Rohrz.

Versuch 17. 27. bis 28./VI. 1916.

Zelle 1—7 schmal (13' breit), aus der Reihe neben dem Bündel, Zelle 8—9 breit (30') weiter innen; bei der 3. Messung am 30./VI. meist pathologische Permeabilitätserhöhung.

Zelle	1	2	3	4	5	6
1. Messung: 27./VI.:	G = 0·633	0·677	0·681	0·657	0·647	0·654
2. „ 28./VI.:	G = 0·671	0·689	0·691	0·657	0·681	abn.

Zelle	7	8	9
Fortsetzung	0·662; — G_{30} = 0·659, O_I = 0·198 GM Rohrz.—;	0·607	0·611; — O_I = 0·182 GM Rohrz.
	0·662; — G_{30} = 0·675, O_{II} = 0·202 GM Rohrz.—;	0·620	0·629; — O_{II} = 0·187 GM Rohrz,

Wenn wir die Resultate von Versuch 13 bis 17 zusammenstellen, so hat sich der osmotische Wert von einem Tag zum nächsten verschoben, u. zw. zugenommen um

Versuch	13:	$0\cdot14_8-0\cdot14_2=0\cdot006$	GM Rohrz.	
»	14:	$0\cdot12_3-0\cdot11_7=0\cdot006$	» »	
»	15:	$0\cdot17_7-0\cdot17_2=0\cdot005$	» »	
»	16:	$0\cdot17_7-0\cdot16_8=0\cdot009$	» »	(gewässerter Schnitt)
»	17:	$0\cdot20_2-0\cdot19_8=0\cdot004$	» »	
		$0\cdot18_7-0\cdot18_2=0\cdot005$	» »	

Viele Versuche verliefen ähnlich. Manchmal war die Zahl der Zellen, wo die Plasmolyse ganz konstant geblieben war, größer.

Bei langdauernder Plasmolyse in Rohrzucker bleibt der Grad also nicht ganz konstant. In gesunden Zellen steigt der osmotische Wert ein wenig an. Die Zunahme ist freilich sehr gering. Die Zellen verhalten sich auch nicht ganz gleich. Im Mittel beträgt die Wertzunahme (auf die entspannte Zelle bezogen) in 0·30 GM Rohrz. etwa 0·004—006 GM Rohrz. in 24 Stunden. Bei einzelnen Protoplasten unterbleibt die Ausdehnung ganz.

Ob es sich um eine außerordentlich kleine Permeabilität für Rohrzucker oder um eine regulatorische Werterhöhung durch Stoffumsetzung im Inneren der Protoplaste handelt, vermag ich natürlich noch nicht zu entscheiden. Das letztere ist mir viel wahrscheinlicher. Ich darf vorausgreifend bemerken, daß ich in Permeabilitätsversuchen mit Salpeter, über die in einer nächsten Arbeit berichtet werden soll, die gleichen Protoplaste in gleich stark plasmolysierenden KNO_3-Lösungen sich etwa 40mal rascher ausdehnen sah. Und die Durchlässigkeit intakter Zellen für KNO_3 ist ja nach Fitting's Befunden (1915), die ich der Größenordnung nach an meinem Objekt völlig bestätigt fand, auch noch nicht eben groß.

Zugunsten »aktiver« Regulation spricht auch besonders das ungleichmäßigere Verhalten der Zellen in Rohrzucker. In meinen KNO_3-Versuchen erfolgte die Ausdehnung an allen Protoplasten (quantitativ allerdings auch dort recht ungleich).[1]

So wären denn die mitgeteilten Versuche vielleicht auch ein erstes Beispiel für die Anwendbarkeit der plasmolytisch-volumetrischen Methode zur Messung osmoregulatorischer Vorgänge an plasmolysierten Protoplasten.[2]

Gelegentliche Angaben in der Literatur, daß auch in Rohrzucker die Plasmolyse zurückgehe, haben mit unserer Erscheinung natürlich nichts zu tun. Sie beruhen meist auf relativ grober Versuchsanstellung; der Rückgang dürfte nur in schwer alterierten Zellen durch direktes Eindringen der Außenlösung erfolgt sein.[3] Bei beginnender Schädigung bewirkt übrigens die erste pathologische Permeabilitätserhöhung in Rohrzucker Exosmose von Zellsaftstoffen und Verkleinerung der Protoplaste (De Vries, 1885), vgl. § 10*a*.

---

[1] Nach orientierenden Versuchen wie V. 15, 16, scheint es ferner, daß der osmot. Wert in vor der Plasmolyse gewässerten Schnitten, wo er erst gesunken ist, dann in hypertonischer Rohrzuckerlösung rascher steigt; dies würde, sollte es sich bestätigen, sehr für die Auffassung beider Vorgänge als regulatorischer Prozesse (und gegen Exosmose und Permeabilität) sprechen. Ferner sprechen die in § 10*a* (p. 53) mitzuteilenden Versuche gegen die Annahme einer Rohrzucker-Permeabilität der gesunden Protoplaste.

[2] Von Interesse werden vergleichende Versuche in verschieden stark plasmolysierenden Lösungen sein. Vielleicht ergeben sie eine eindeutige Entscheidung über die lange diskutierte Frage nach der Gültigkeit des Weber-Fechner'schen Gesetzes für Turgorregulationen (Rysselberhe's Katatonose und Anatonose 1899).

[3] Dagegen hat Fitting, wie ich aus seiner eben erschienenen Arbeit (1917, p. 558) mit Vergnügen ersehe, mit der verfeinerten grenzplasmolytischen Methode nach langdauernder Plasmolyse in Rohrzucker (in gewässerten Schnitten) ein ähnliches schwaches Ansteigen des Grenzwertes beobachtet.

Wenn wir bei der früheren Diskussion über mögliche Änderungen des osmotischen Wertes während des Plasmolysierens zum Resultat kamen, daß Exosmose und Wertverminderung in ungewässerten Präparaten kaum zu befürchten sind, so müssen wir jetzt damit rechnen, daß vielleicht in den ersten Stunden eine ähnliche ganz geringe Werterhöhung statt hat wie nach dem Perfektwerden der Plasmolyse. Es könnte dann, wenn z. B. die erste Ablesung nach 12 Stunden erfolgt, der osmot. Wert vielleicht um etwa 0·002—0·003 GM Rohrz. gestiegen sein.

e) Grenzplasmolytische Versuche.

Ich habe weiters mit den Grundgewebszellen von *Tradescantia guianensis* einige vergleichende osmotische Wertbestimmungen nach der alten grenzplasmolytischen und nach der plasmolytisch-volumetrischen Methode ausgeführt.

Versuch 18. 21./II. 1916.

13 gleiche Stengellängsschnitte kamen direkt in Rohrzuckerlösungen steigender Konzentration von 0·01 GM Abstand, und zwar je ein Schnitt in 0·20, 0·21....0·29 GM, 3 Schnitte in 0·30 GM; 2 von diesen kamen nach 2 Stunden in 0·35 und 0·40 GM. Da sich so viele Schnitte nicht aus einem Stengelstück herstellen ließen, schnitt ich sie aus 3 kurzen benachbarten Stückchen eines Internodiums. Eingelegt 21./II. 11^h vorm., abgel. 5^h nachm., revidiert 22./II. früh.

0·20—0·22 GM Rohrz.: —, nirgends Plasmolyse,

0·23 GM: —,

0·24 GM: —,[1]

0·25 GM: { — in fast allen Zellen, + in ganz wenigen,

0·26 GM: { —, + in manchen,

0·27 GM: { + in der Mehrzahl der Zellen, — in anderen,

0·28 GM: +, meist nur schwach in den Ecken,

0·29 GM: + in allen; einige Protoplaste einerseits halbkugelig, andrerseits der Querwand anliegend, der Grad approximativ meßbar: $G = 0·89_5$, $0·88_8$. Am nächsten Morgen z. B. $G = 0·85$,

0·30 GM: + überall, $G = (0·88_7)$, (0·86 adh.) bei der Revision, als sicher Gleichgewicht eingetreten, $G = 0·82$,

0·35 GM: Der Grad zuverlässig plasmolytisch-volumetrisch bestimmbar $G = 0·72$ (0·76 adhär.), 0·75, 0·73, 0·74, 0·73; Mittelwert $G_{35} = 0·73_4$, $O_{35} = 0·25_7$ GM,

0·40 GM: Mittelwert $G_{40} = 0·63_7$, $O_{40} = 0·25_4$ GM.

Die plasmolytisch-volumetrische Bestimmung ergibt einen osmotischen Wert $O_{35} = 0·25_7$ $O_{40} = 0·25_4$ GM Rohrz. Als plasmolytische Grenzlösung müssen wir 0·26—0·27 GM annehmen. Daß der Grenzwert etwas höher ausfällt als der wahre osmotische Wert (für die unplasmolysierte Zelle), kann ja nicht überraschen. Die Übereinstimmung ist sonst nicht schlecht (ebenso Versuch 12 in § 9 *c*).

Es galt nun zu entscheiden, ob der grenzplasmolytische Wert den plasmolytisch-volumetrischen nur um soviel übertrifft, als dem Volumverlust des grenzplasmolysierten Protoplasten entspricht, oder ob die Differenz nicht noch größer ist, wie das z. B. bei *Gentiana* (§ 6, p. 19 [117], Versuch 1 bis 4) der Fall war. Wir haben für das dort beobachtete Ausbleiben der ersten Plasmolyse in schwach hypertonischer Lösung die Adhäsion des Protoplasten an der Zellwand verantwortlich gemacht.

---

[1] Nur in ein paar Zellen am Schnittrand starke »Scheinplasmolyse«, vgl. § 10 *c*.

Um in dieser Hinsicht auch unsere *Tradescantia*-Zellen zu prüfen und alle individuellen Unterschiede zwischen benachbarten Schnitten auszuschließen, habe ich bei weiteren grenzplasmolytischen Versuchen denjenigen Schnitt aus der Reihe, der eben noch keine Plasmolyse zeigte, nachträglich in stärkere, vollkommene Plasmolyse bewirkende Konzentration übertragen und aus dem dort erreichten Grad den wahren osmotischen Wert berechnet.

Versuch 19. 16./III. 1917.

11 gleiche Schnitte in 0·20, 0·21....0·30 GM Rohrz. eingelegt am 15./III. 1916 7h abends, abgelesen 16./III. vorm.

0·20—0·24 GM: —,

0·25 GM: —, nur 2 Zellen ganz schwach +,

0·26 GM: { —, + schwach,

0·27 GM: { — in manchen, + verschieden stark, meist schwach, in den stärkst plasmolysierten $G = 0 \cdot 92$, $0 \cdot 90$, $0 \cdot 89$.

0·28 GM: + überall.

Plasmolytische Grenze ist also 0·26 GM Rohrz. Der Schnitt aus 0·25 GM und der aus 0·22 GM kamen unmittelbar nach der Musterung in 0·35 GM; hier trat schöne gleichmäßige Endplasmolyse ein. Die Ablesung nach 4 Stunden gab für den 0·25er Schnitt

0·35 GM: $G = 0 \cdot 67$, 0·72, 0·72, 0·72, 0·73, 0·72, 0·68, 0·69, 0·66; Mittelwert $G_{35} = 0 \cdot 70_1$, — $O_{35} = 0 \cdot 24_5$ GM Rohrz.

Der wahre osmotische Wert für die Zellen, die in 0·25 GM zum größten Teil unplasmolysiert geblieben waren, ist also im Mittel $= 0 \cdot 24_5$ GM, er ist um $0 \cdot 01_5$ GM kleiner als der Grenzwert. Die Differenz ist nicht groß. Die Markzellen von *Tradescantia* sind eben, wie schon bemerkt, ein Gewebe, für das auch die grenzplasmolytische Methode ganz gute Resultate liefert. Der Plasmolyseverzug in ganz schwach hypertonischer Lösung ist verhältnismäßig gering und würde an unserem Objekt vielleicht nicht klar zur Wahrnehmung gelangen, wenn er nicht von der *Gentiana*-Epidermis (und vielen anderen in dieser Hinsicht drastischeren Geweben) her bekannt wäre.

Nach jenen Erfahrungen aber können wir ihn auch hier wiedererkennen, und dies mit voller Sicherheit. In den Zellen, für die die plasmol.-vol. Bestimmung den Mittelwert $O = 0 \cdot 24_5$ GM ergab, hätte doch auch zuvor in 0·25 GM ganz schwache Plasmolyse (vom mittleren Grad $G = 0 \cdot 98$) zumindest in der Hälfte der Zellen eintreten sollen. Noch mehr aber: Auch in 0·26 GM ist noch die Hälfte der Zellen unplasmolysiert geblieben, selbst in 0·27 GM noch einzelne Zellen. Diese haben gewiß nicht individuell so hohe Werte. Die Ablesung in 0·35 GM ergab ja zum Beispiel für die stärkst plasmolysierte der gemessenen Zellen $G = 0 \cdot 66$, also $O = 0 \cdot 23_1$ GM, für die schwächstplasmolysierte $G = 0 \cdot 73$, $O = 0 \cdot 25_5$ GM. Auch in den zahlreichen Stufenversuchen mit dem gleichen Material begegneten mir nie so hohe Einzelwerte. Hier ist wohl bewiesen, daß die Plasmolyse in ganz schwach hypertonischer Außenlösung ausbleiben kann. Die wahrscheinlichste Ursache ist Adhäsion. Freilich, in welchen Zellen diese überwunden wird, in welchen sie als gleichgewichtstörender Faktor erhalten bleibt, das scheint in hohem Maß von Zufällen in der Art, wie die Außenlösung eindringt, abzuhängen und entzieht sich noch näherer Beurteilung.

Was die Möglichkeit einer Messung der absoluten Adhäsionsgröße — etwa aus dem geringsten zur Überwindung nötigen »osmotischen Überdruck« — betrifft, so will ich auf dieses Anwendungsgebiet der plasmol.-vol. Methode jetzt nicht eingehen.

Als »Indikationsgewebe« (De Vries) für grenzplasmolytisches Arbeiten werden sich uns jetzt vielleicht geradezu solche darstellen, bei denen (neben leichter Wahrnehmbarkeit schwächster Plasmolyse) die erste Loslösung des Plasmas, wenigstens an den Ecken, schon bei geringem osmotischem

Überdruck von außen her stattfindet — respektive solche Gewebe, wo die Adhäsion nicht stark ist.

Klarer noch als die mögliche völlige Verhinderung der Grenzplasmolyse tritt in unseren Versuchen eine andere Wirkung der Adhäsion hervor. In schwach hypertonischen Lösungen erreicht die Plasmolyse, auch wenn sie schon eintritt, doch oft bei weitem nicht den nach der Proportionalität zu erwartenden Grad. Die Tatsache ist methodisch so wichtig, daß sie schon in § 8 (Versuch 8) zur Sprache kommen mußte. Jeder grenzplasmolytische Versuch liefert reichliche Belege. In Versuch 19 war beispielsweise noch in 0·27 GM die Plasmolyse sehr ungleichmäßig: Viele Zellen zeigten nur schwache oder stärkere Abhebung in den Ecken, viele konkave Plasmolyse und nur die ganz wenigen »vollkommen« plasmolysierten, die sich zufällig beiderseits von der Querwand losgelöst und kugelige Rundung erreicht haben, wiesen mit ihrem Grad schon auf den wahren, in 0·35 GM bestätigten, osmot. Wert hin. Auch in 0·28—0·30 GM und weiter stört vielfach unüberwundene Adhäsion das Gleichgewicht.

Für exakte osmotische Wertbestimmung sind also solche Protoplaste zu vermeiden, die nach endgültiger Plasmolyse konkav sind, einer Querwand anliegen oder deren Gestalt sonst durch Adhäsion sichtlich beeinflußt ist.

Die Volumbestimmung ist da nicht nur schwerer durchführbar, sondern kann direkt auf falsche, zu hohe, Werte führen. Stärkere Plasmolyse ist allgemein empfehlenswerter als ganz schwache. Wenn sich auch keine Regel in Zahlen aufstellen läßt, so soll doch der Grad *G* der Plasmolyse für schmale Zellen zumindest etwa 0·90—0·80, für breitere 0·70—0·60 sein.

Auf einen zusammenfassenden Vergleich der grenzplasmolytischen und der plasmolytisch-volumetrischen Methode kommen wir im Schlußteil der Arbeit zurück.

f) Geht Plasmolyse auch proportional zurück?

Bei den Proportionalitätsversuchen in § 8 habe ich die Präparate stufenweise aus schwächeren in immer stärker plasmolysierende Konzentrationen gebracht. Sie vertrugen ohne Schädigung 3- bis 4-maliges Übertragen und erhielten die Proportionalität im Grad der Plasmolyse.

Es erhob sich die interessante Frage, ob endplasmolysierte Protoplaste ebenso gut die Überführung in schwächere, doch auch noch hypertonische Außenlösung ertragen und ob sie bei der hier erfolgenden Ausdehnung die Proportionalität ebenso gut wie bei fortschreitender Verkleinerung zu wahren imstande sein würden.

Die Versuche wurden in der Weise angestellt, daß *Tradescantia*-Schnitte beispielsweise in 0·30 GM Rohrz. und nach einigen Stunden weiter in 0·50 GM kamen; nachdem hier volles Gleichgewicht erreicht und der Grad abgelesen, brachte ich sie in 0·45, in 0·40 oder in 0·35 GM.

Das Ergebnis war folgendes:

1. In einem Teil der Zellen geht die Plasmolyse ebenso proportional zurück, wie sie in den Stufenversuchen in fast allen Zellen proportional zunimmt.

2. Ein nicht kleiner Teil der Protoplaste verhält sich aber anders. Die Ausdehnung erreicht oft nicht das erwartete Maß, manchmal überschreitet sie es. Die Zahl der sichtlich geschädigten Protoplaste ist unverhältnismäßig groß. —

Wir dürfen annehmen, daß die Protoplaste, die sich proportional ausdehnen, intakt geblieben sind. Die anderen sind alteriert, gleichviel ob sie durch die Umrißform sich auch äußerlich als geschädigt kennzeichnen oder ob sie bloß von der Proportionalität abweichen, was ja nur möglich ist, wenn sie permeabel geworden sind oder wenn sie sich nicht mehr aufs Gleichgewicht einzustellen imstande waren.

Der Befund ist nicht überraschend. Schon De Vries (1884, p. 471), fand gelegentlich bei qualitativen Versuchen, daß plasmolysierte Protoplaste gegen nachträgliche Ausdehnung minder widerstandsfähig sind als gegen nachträgliche weitere Kontraktion.

Für die Methodik lassen meine bisherigen Versuche ohneweiters erkennen:

Soll für ein gegebenes Objekt der osmotische Wert durch Vergleich der in verschiedener Konzentration bewirkten Grade der Plasmolyse (also durch Proportionalitätsversuche) bestimmt werden, so plasmolysiere man stets erst in schwächeren, dann stufenweise in stärkeren Lösungen — nicht umgekehrt.

Ich hoffe, auf solche Ausdehnungsversuche später in anderem Zusammenhang zurückkommen zu können. Gerade sie scheinen mir einer vielseitigen methodischen Anwendung fähig zu sein.[1]

g) Systrophe und Plasmaströmung nach Plasmolyse.

Schimper (1885, p. 221) hat beobachtet, daß in gesunden Pflanzenzellen die Chlorophyllkörner sich auf starke äußere Reize verschiedener Art zu Klumpen ansammeln, und hat diese Erscheinung als Systrophe bezeichnetet. Küster (1906, 1910 *a*, p. 268) hat die interessante Tatsache festgestellt, daß auch Plasmolyse eine solche Systrophe hervorzurufen pflegt, und hat wahrgenommen, daß außer den Chromatophoren auch das Körnerplasma an der Bildung der Anhäufung teilnimmt, welch letztere meist auch den Zellkern enthält.

In meinen Versuchen fand sich das Gleiche. In plasmolysierten Grundgewebszellen von *Tradescantia*, die 12 bis 24 Stunden oder länger in den Rohrzuckerlösungen verweilt haben, tritt höchst auffallend die Häufung der Chlorophyll- und Stärkekörner hervor, die fast überall einen mehr oder weniger dichten Klumpen um den Kern bilden.

Gleich nach dem Eintritt der Endplasmolyse sind die Chromatophoren oft noch diffus gelagert.[2] Die Umlagerung geschieht dann durch Plasmaströmung. In einigen Fällen sah ich direkt, wie ruhende, vom Kern entfernte Chromatophoren plötzlich vom strömenden Körnerplasma ergriffen wurden und erst ruckweise, dann in zusammenhängender Bewegung bis in die Nähe des Kerns gelangten; hier kamen sie zur Ruhe;[3] es sah etwa aus, als ob sie am Zellkern und den ihm bereits anlagernden Körnern »hängen« blieben.

Plasmaströmung ist in den plasmolysierten *Tradescantia*-Markzellen eine häufige Erscheinung. Sie beginnt während des Eintrittes oder auch erst nach dem Perfektwerden der Plasmolyse. Sie kann stundenlang dauern. Nach Vollendung der Systrophe hört sie auf, noch lange, ehe der Protoplast irgend welche Schädigung oder Abnormalität aufweist.

Interessant war mir die Wahrnehmung, daß in gewässerten Schnitten — ebenso wie die Endplasmolyse — auch die erste Plasmaströmung viel schneller und gleichmäßiger als in direkt plasmolysierten eintritt und viel früher zum bleibenden Endstadium, zur Systrophe führt.

Für unser Thema ist die durch normale Rohrzuckerplasmolyse im gesunden Protoplasten bewirkte Systrophe vor allem im Hinblick auf den nächsten Paragraphen von Bedeutung: Kern, Chromatophoren und Körnerplasma liegen stets oder fast stets zu einem Klumpen gehäuft beisammen, wenn der Protoplast — eventuell nach mehreren Tagen — aus dem normalen in den abnormalen Zustand übergeht.

---

[1] Bei solchen Versuchen wird — im Hinblick auf die von Klebs (1888) zuerst gefundene Membranbildung um plasmol. Protoplaste und auf Küster's richtunggebende Untersuchungen über die Veränderung der Plasmaoberfläche bei Plasmolyse (1910 *b*) — vor allem auch die Zeitdauer der ersten Plasmolyse zu berücksichtigen sein.

[2] Die auf Tafel I abgebildeten Stufenversuche zeigen schön das allmähliche Zustandekommen der Systrophe.

[3] Interessante Strömungsanomalien nach Eintritt der Systrophe beschreibt Küster (1910 *a*, p. 276).

§ 10. Normale und abnormale Plasmolyse.

Wenn aus dem Grad der Plasmolyse und der Konzentration der Außenlösung der wahre osmotische Wert einer Zelle erschlossen werden soll, dann müssen zwei Hauptbedingungen erfüllt sein: Der Grad muß endgültig geworden sein und er darf noch nicht nachträglich verändert sein. Wie sich im vorigen Paragraphen ergeben hat, sind solche sekundäre Veränderungen für unsere in Rohrzucker plasmolysierten *Tradescantia*-Markzellen, solange sie intakt sind und die Plasmolyse normal bleibt, nicht anzunehmen oder doch höchstens von sehr geringer Größe (§ 9 *d*). — Anders natürlich für alterierte Protoplaste. Hier bewirkt pathologische Veränderung des Plasmas und seiner Hautschicht in den meisten Fällen auch Volumsänderung.

Für einen richtigen Gebrauch unserer Methode ist es daher eine unerläßliche Bedingung, daß alle Fälle abnormaler Plasmolyse prinzipiell von der Berechnung ausgeschlossen werden. So erwächst die Aufgabe, geschädigte Protoplaste von gesunden sicher zu unterscheiden.

Wir verdanken bekanntlich De Vries die grundlegenden Arbeiten (1885, 1884*b*) über diesen Gegenstand. Wie dort, so sollen im folgenden alle plasmolytischen Erscheinungen an gesunden Protoplasten als normale Plasmolyse bezeichnet werden, so daß also hieher eintretende und endgültige, konkave und konvexe Pl. gehören (§ 9*a*). Abnormal soll hingegen die Plasmolyse geschädigter Protoplaste heißen,[1] besonders auch solcher, die die Erscheinungen langsamen Absterbens zeigen.

Ich muß mich in dieser Arbeit auf die Formen der Plasmolyse in Rohrzucker und auf unser Objekt, die Grundgewebszellen von *Tradescantia*, beschränken.

Abnormale Plasmolyse kann sich nun auf zweifache Weise als solche kennzeichnen: durch abweichende Gestalt der Protoplaste, die sich im Mikroskop direkt beobachten läßt, oder schon allein durch deren abweichende Größe.

Wir betrachten den letztgenannten Fall zuerst: Hier gibt uns die plasmol.-vol. Methode selbst ein neues Arbeitsmittel an die Hand. Ist nämlich für eine Art von Zellen durch Stufenversuche erwiesen, daß sie dem Gesetz von der Proportionalität im Grade der Plasmolyse in der Regel folgen, so kann eine auffällige Abweichung von der Proportionalität an sich schon ein Kriterium sein für eine eingetretene Veränderung des Plasmas, speziell eine krankhafte Alterierung der Permeabilitätsverhältnisse, auch wenn sich die Oberflächenform des Protoplasten noch nicht geändert hat.

a) Pathologische Permeabilitätserhöhung.

Wie seit den grundlegenden Untersuchungen von De Vries (1885, p. 567*f*) bekannt, kann Plasmolyse in Rohrzucker, nachdem sie erst einen konstanten Grad erreicht und durch einige Tage beibehalten hat, dann neuerdings beginnen zuzunehmen. Die Ursache dieser Erscheinung ist nach De Vries folgende: Bei eintretender Schädigung wird die Permeabilität der Hautschicht, die vorher fast Null war, allmählich erhöht. Der Rohrzucker der Außenlösung permeiert relativ schwer. Noch ehe er einzudringen vermag, können die leichtest diffusiblen Zellsaftstoffe exosmieren und dadurch wird der osmotische Wert des Zellsaftes kleiner und die Plasmolyse stärker.

Nun begegnet es bei den Stufenversuchen gar nicht selten, daß in einzelnen Zellen diese erste Permeabilitätserhöhung im Verlauf eines Versuches eintritt. Dann müssen die Protoplaste in ihrer Größe vom Gesetz der Proportionalität abweichen, und zwar zu klein werden. — Das ist durch einen glücklichen Zufall in einem gezeichneten Stufenversuch (Taf. I, Abb. 5 bis 8) gerade zwischen der 3. und 4. Messung geschehen.

---

[1] Solche Protoplaste weichen also eigentlich — dies mag gleich ein für allemal bemerkt werden — nicht nur von der Norm ab, sondern zeigen zugleich pathologische Charaktere.

Versuch 20. 24. III. 1916.

Trad. guianensis, Stengelängsschnitt, direkt eingelegt in 0·30 GM Rohrz. am 23. III. abends, gezeichnet und abgelesen am 24. III. 9—10[h] vorm., dann in 0·35 GM bis 12[h], dann in 0·40 GM bis 3[h], in 0·50 GM bis 5[h].

Zelle 3 und 4 wurden gezeichnet. — Meniskusfaktor = 0·4.

C	Zelle	$\frac{l}{h}$	$2\,m$	b	$\frac{l-2\times 7\cdot 5\times 0\cdot 4}{h}=G$	$G\times C=O$
0·30 GM Rohrz.	1.	adhär.		20		
	2.	adhär.		»		
	3.	$\frac{14\frac{1}{2}-100}{114}$	$2\times 7\cdot 5$	»	$\frac{85\cdot 5-6}{114}=0\cdot 697$	
	4.	$\frac{15\frac{1}{2}-97}{110}$	»	»	$\frac{81\cdot 5-6}{110}=0\cdot 681$	
	5.	$\frac{17\frac{1}{2}-88}{95}$	»	»	$\frac{70\cdot 5-6}{94}=0\cdot 679$	
	6.	$\frac{9\frac{1}{2}-77\frac{1}{2}}{88\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{68-6}{88\cdot 5}=0\cdot 700$	
	7.	$\frac{11-72}{79\frac{1}{2}}$	»	»	$\frac{61-6}{79\cdot 5}=0\cdot 692$ **$G_{30}=0\cdot 690$**	$0\cdot 690\times 0\cdot 30=$ **$O_{30}=0\cdot 207$**
0·40 GM Rohrz.	1.	$\frac{20\frac{1}{2}-61}{68\frac{1}{2}}$	$2\times 7\cdot 5$	20	$\frac{40\cdot 5-6}{68\cdot 5}=0\cdot 504$	
	2.	$\frac{8\frac{1}{2}-38}{43}$	»	»	$\frac{29\cdot 5-6}{43}=0\cdot 546$	
	3.	$\frac{26\frac{1}{2}-90\frac{1}{2}}{114}$	»	»	$\frac{64-6}{114}=0\cdot 508$	
	4.	$\frac{24-86\frac{1}{2}}{110}$	»	»	$\frac{62\cdot 5-6}{110}=0\cdot 511$	
	5.	$\frac{26-79\frac{1}{2}}{95}$	»	»	$\frac{53\cdot 5-6}{95}=0\cdot 491$ **$G_{40}=0\cdot 513$**	$0\cdot 513\times 0\cdot 40=$ **$O_{40}=0\cdot 205$**

C	Zelle	$\frac{l}{h}$	$2m$	b	$\frac{l-2\times 7\cdot 5\times 0\cdot 4}{h}=G$	$G\times C=O$
0·50 GM Rohrz.	1.	$\frac{30-58\frac{1}{2}}{68\frac{1}{2}}$	$2\times 7\cdot 5$	20	$\frac{28\cdot 5-6}{68\cdot 5}=[0\cdot 32_8]$	$[O=0\cdot 16_4]$
	2.	$\frac{10\frac{3}{4}-36}{43}$	»	»	$\frac{25\cdot 2-6}{43}=0\cdot 44_6$	
	3.	$\frac{34\frac{1}{2}-85\frac{3}{4}}{114}$	»	»	$\frac{51\cdot 2-6}{114}=0\cdot 39_7$	
	4.	$\frac{37-80}{110}$	»	»	$\frac{43-6}{110}=[0\cdot 33_6]$	$[O=0\cdot 16_8]$
	5.	$\frac{33-76\frac{1}{2}}{95}$	»	»	$\frac{43\cdot 5-6}{95}=0\cdot 39_6$	$0\cdot 41_3\times 0\cdot 50$
					$\mathbf{G_{50}=0\cdot 41_3}$	$\mathbf{O_{50}=0\cdot 20_6}$

Bei den 3 ersten Messungen (von denen die zweite in 0·35 GM nicht angeführt ist), waren alle Grade der Pl. proportional. 3 Zellen blieben bis zum Schluß normal, in Zelle 1 und 4 begann vor der 4. Messung die pathologische Exosmose von Zellsaftstoffen. — Die Abb. 8 (Zelle unten!) läßt erkennen, daß der Protoplast trotz der eingetretenen Permeabilität die kugelige Oberfläche bewahrt hat und äußerlich wohl für intakt gelten dürfte.

Die Abweichung von der Proportionalität ist hier in ihrer Ursache unzweifelhaft. Sie illustriert das De Vries'sche Stadium »fortschreitender Plasmolyse in Rohrzuckerlösungen« (l. c.) schön quantitativ. Der wahre osmot. Wert ist $O_{30}=0\cdot 20_7$, $O_{40}=0\cdot 20_5$, $O_{50}=0\cdot 20_6$ GM Rohrz., so müßte also in 0·50 GM Rohrz. in Zelle 4, wenn sie intakt wäre, der Grad der P^l. $G=0\cdot 41$ sein. Statt dessen ist $G=0\cdot 33_6$: es sind Inhaltsstoffe etwa vom Wert $(0\cdot 41-0\cdot 33_6)\times 0\cdot 50=0\cdot 03_7$ GM exosmiert, d. h. Stoffe, die mit $0\cdot 03_7$ GM Rohrz. isotonisch waren.

Natürlich beobachtet man beginnende Permeabilitätssteigerung auch bei gewöhnlichen Konstanzversuchen in Zellen, die zu kränkeln beginnen.

Versuch 21. 27. bis 28./VI. 1916.

Schnitt hergestellt 27./VI., 12h45, 1. Messung 6h abends, 2. Messung 28./VI. 12h45; 0·30 GM Rohrz. — vgl. die Konstanzversuche 13—17. Hier war aus irgend einem Grund die Mehrzahl der Protoplaste nach 24 Stunden nicht mehr intakt, vielleicht weil der Schnitt zu dünn war.

	Zelle 1	2	3	4	5	6
1. Messung 27./VI.:	$G_1=0\cdot 51_8$	$0\cdot 53_2$	$0\cdot 56_0$	$0\cdot 52_2$		$0\cdot 53_6$
2. » 28./VI.:	$G_2=$ tot	$0\cdot 38_8$	$0\cdot 39_5$	$0\cdot 39_2$	$0\cdot 27_4$	$0\cdot 48_4$.

Versuch 22. Ebenso. 27. bis 28. VI. 1916.

	Zelle 1	2	3	4	5
1. Messung 27./VI.:	$G_1=0\cdot 53_8$	$0\cdot 58_7$	$0\cdot 55_6$	$0\cdot 56_0$	$0\cdot 54_2$
2. » 28./VI.:	$G_2=0\cdot 53_8$	$0\cdot 45_3$	tot	tot	$0\cdot 54_2$.

Einige Protoplaste sind konstant geblieben, andere permeabel geworden, andere tot. In Zelle 2 bis 4, Versuch 21, ist der Substanzverlust etwa $(G_1-G_2)\,O = 0\cdot 14 \times 0\cdot 30 = 0\cdot 04_2$ GM Rohrz.

Die Verkleinerung der Protoplaste beweist, daß das Stadium pathologisch erhöhter Permeabilität eingetreten ist. Die absolute Differenz ist viel größer als bei den Konstanzversuchen in § 9 *d*, wo die intakten Protoplaste sich, vielleicht infolge regulatorischer Werterhöhung, in 24 Stunden ein wenig vergrößert haben.

Bei grober Schädigung kann natürlich auch in Rohrzucker die Plasmolyse unmittelbar zurückgehen, wenn nämlich die Durchlässigkeit so stark erhöht ist, daß einfach von außen Rohrzucker eindringt. Dies beobachtete ich oft bei mechanisch (zum Beispiel durch grobes Anfassen oder Aufdrücken des Deckglases) lädierten Schnitten. Ebenso sah ich in alten, stark geschädigten Rohrzuckerpräparaten oft abnorm große Protoplaste, besonders in einzelnen noch lebenden Zellen, deren Nachbarn ringsum schon tot waren.

In rein methodischer Hinsicht sind all diese Fälle Beispiele dafür, wie aus einer einzigen Ablesung des Grades ungültige osmotische Werte sich ergeben könnten. Sie zeigen den Nutzen der Stufen- und Konstanzversuche.

b) Abnormale Plasmolyse, die sich an der Gestalt der Protoplaste kundgibt.

Sehr viele Formen abnormaler Plasmolyse sind schon bei einfacher mikroskopischer Beobachtung und ohne Messung von normaler, endgültiger (»vollkommener«) Plasmolyse sicher zu unterscheiden (vgl. Taf. II, Abb. 11 bis 17).

Ich bin mit diesen Formen bei meinen plasmolytisch-volumetrischen Versuchen bekannt geworden. Für ihre Charakterisierung im Rahmen dieser Arbeit ist der Anlaß zunächst ein negativer: Sie dürfen nicht mit normalen Protoplasten verwechselt und zur osmotischen Wertung verwendet werden. — Ich will nicht verschweigen, daß ich mir vom näheren Studium einiger Formen und von einer Analyse der Bedingungen ihrer Entstehung — ohne Hinblick auf unsern Zweck, rein um der Sache selbst willen betrieben — interessante Aufschlüsse in mehrfacher, auch protoplasmamechanischer Beziehung erwarten möchte und daß ich hier ein hoffnungsreiches, noch wenig bearbeitetes Feld pathologischer Zellforschung zu sehen glaube.

Die folgende Übersicht bitte ich als eine ganz provisorische zu betrachten. Sie umfaßt bloß einige markante Fälle, deren Kenntnis fürs plasmolytisch-volumetrische Arbeiten unentbehrlich erscheint. —

Wenn man einen Stengellängsschnitt von *Tradescantia*, der etwa 5 Tage lang in 0·30 GM Rohrz gelegen hat, betrachtet, so sind zwar viele Protoplaste noch lebendig und plasmolysiert. Die Mannigfaltigkeit der Formen ist aber jetzt eine sehr große. Wenige Zellen sind unverändert, sie zeigen noch normale Plasmolyse, wie 12 Stunden nach dem Einlegen. Die große Mehrzahl ist verändert. Es ist zunächst nicht leicht, ein System in die Mannigfaltigkeit zu bringen.

1. In zahlreichen Zellen sind Kern, Plasma und Chromatophoren tot und nur die Vakuole oder die Vakuolen leben noch. Ihre Oberfläche ist wunderschön gerundet, wie die Plasmahautschicht im Fall »vollkommener« Endplasmolyse. Ihr Volum ist leicht zu bestimmen. Solche Protoplaste könnten bei flüchtiger Betrachtung wohl für intakte gehalten werden, von denen sie sich aber aufs schärfste dadurch unterscheiden, daß Kern, Plasma und Chloroplasten der prall gespannten, kugeligen Oberfläche außen und nicht innen ansitzen (Taf. II, 11).

Wir haben hier natürlich die von De Vries (1885) so eingehend studierten isolierten Vakuolen vor uns. — Dieses Stadium tritt in den verschiedensten Objekten bei Anwendung verschiedener Plasmolytika ungemein häufig auf und ist bei aufmerksamer Beobachtung stets gut charakterisiert; es ist die wichtigste Absterbeform, mit der wir es zu tun haben, und muß sorgsam von der plasmol.-vol.

Berechnung ausgeschlossen werden. Ich nenne es zur Kürze mit Benützung des markanten De Vriesschen Ausdruckes Tonoplastenstadium[1] (=»Ton« in den Protokollen).

Wie De Vries gezeigt hat, können die Vakuolen entweder (in KNO_3) schon während des Eintritts der Plasmolyse isoliert werden oder es kann am endgültig plasmolysierten Protoplasten erst nachträglich Kern und Plasma absterben. An unserem Objekt kann man noch am fertigen Tonoplasten erkennen, auf welche Art er entstanden ist. Nur die zweite Art ist in Rohrzucker häufig. Sie ist dadurch gekennzeichnet, daß Kern, Plasma und Chromatophoren zu einem Klumpen gehäuft sind, der dem Tonoplasten äußerlich anliegt, infolge der erwähnten Systrophe, die im anfangs normal plasmolysierten Protoplasten Zeit hatte einzutreten. — Wünscht man eigene Namen, so schlage ich dafür den Terminus »sekundäres Tonoplastenstadium« vor.

Im anderen Falle, der »primäres Tonoplastenstadium« heißen soll, stirbt das äußere Protoplasma vor der Endplasmolyse oder doch vor der Systrophe. Das geschieht in Rohrzucker selten, unter welchen Bedingungen, konnte ich noch nicht ermitteln. Die Chlorophyllkörner sind noch diffus, nicht systrophiert, sitzen aber außen an der runden Oberfläche. — Primäres Tonoplastenstadium ist noch leichter als sekundäres mit normaler Plasmolyse zu verwechseln.

Nach Ausscheiden der Tonoplaste verbleiben zahlreiche abnormale Plasmolyseformen, wo Hautschnitt, Kern und Plasma noch lebt, aber die Umrißform der Protoplaste nicht mehr die anfängliche ist, sondern von der Kugelrundung mehr oder weniger auffallend abweicht.

Hieher gehören folgende Fälle:

3. (Taf. II, Abb. 12.) Die Menisken sind größtenteils noch gleichmäßig rund. Nur eine Stelle ist flach. Durchmusterung zahlreicher Präparate zeigte, daß die flache Stelle meist dort liegt, wo der systrophierte Kern-Plasma-Klumpen sich befindet.

4. (Taf. II, Abb. 13.) Neben dem Kern ist die Außenkontur nicht ausgeflacht, sondern konkav ausgerandet; so besonders, wenn der Klumpen zufällig nicht innen am Meniskus, sondern an der flachen Seitenwand liegt.

5. (Taf. II, Abb. 14.) Ein ähnliches, etwas vorgeschrittenes, wenig beständiges Stadium. Die Ausbuchtung noch tiefer. Die Kern-Plasmamasse deutlich getrübt. Die Konturen der vor der Isolierung stehenden Vakuolenwände beginnen im Innern des Protoplasten hervorzutreten.

Ich konnte nun mit Sicherheit durch mehrmalige Revision derselben Zelle beobachten, daß die unter 3. bis 5. angeführten Formen Übergangsstufen zwischen normaler Plasmolyse und sekundärem Tonoplastenstadium sind. Abb. 12 führt zu Tonoplasten, die ähnlich wie Abb. 10 aussehen werden, Abb. 13 führt über ein Stadium, ähnlich Abb. 14, zu zweigeteilten Tonoplasten, wie in Abb. 15 dargestellt.

Die Ursache der Ausflachung und Einbuchtung werden wir wohl in einer verminderten Oberflächenspannung suchen dürfen. An den übrigen Oberflächenteilen wird die Hauptlast der Spannung, wie sich zugleich zeigt, auch nicht mehr von der Hautschicht, sondern schon von der Vakuolenwandung getragen. Näher auf die Verhältnisse einzugehen, ist hier nicht der Ort[2] (vgl. Küster 1910*a*, p. 272).

6. Seltener begegnen andere abnorme Ungleichmäßigkeiten der Rundung, die keine Beziehung zur Lage des Kerns erkennen lassen. Ich konnte in sie noch kein System bringen.

7. Kerbplasmolyse. (Taf. II, Abb. 16, 17, Taf. I, Abb. 2, Zelle unten.) Nicht wenige Protoplaste mit lebendem Plasma und Kern zeigen folgende auffallende gestaltliche Absonderheit: Die freie runde

---

[1] Die Einführung des Ausdruckes »Tonoplast« für die semipermeable Vakuolenwand (De Vries, 1885, p. 469) war ja nicht an die in derselben Arbeit ausgesprochene, in der Folge widerlegte Ansicht geknüpft, daß die Vakuolen nur durch Teilung aus ihresgleichen entstünden (hiezu Klebs 1890, Pfeffer 1890, Wisselingh 1909).

Das Tonoplastenstadium ist oft als abnormale Plasmolyse schlechthin bezeichnet worden. Wir gebrauchen letzteren Ausdruck lieber als Sammelname.

[2] Auch die interessante Frage, ob und wie weit die Permeabilitätsverhältnisse bei der ersten Alterierung und Oberflächenänderung der äußeren Plasmahaut beeinflußt werden, muß weiteren Untersuchungen überlassen bleiben, für welche die plasmol.-vol. Methode vielleicht gute Dienste leisten wird. Zur osmotischen Wertung werden wir vorläufig beim Kern ausgerandete oder flache Protoplaste nicht verwenden.

Oberfläche weist eine oder auch einige tiefe Kerben auf. Zwischen Kerbe und Zellwand ist das Plasma prall und die Kontur gleichmäßig rund. Die Kerbe selbst ist innen spitz, sie steht dadurch im scharfen Gegensatz zur früher besprochenen Ausrandung beim sich vorbereitenden Tonoplastenstadium; zur Lage des Kerns besteht hier keine Beziehung. Die Kerben können seicht sein mit stumpfem innern Winkel oder spitz, so daß sie Halbkugeln oder noch größere Teile vom Protoplasten abschnüren. Alle Formen fasse ich mit einem vom Herrn Prof. Molisch gebildeten Namen als Kerbplasmolyse (= K. in den Protokollen) zusammen, zunächst ohne Rücksicht auf die Art der Entstehung.

Küster war der erste, der eine solche Kerbplasmolyse beobachtet und abgebildet hat (1910*b*, p. 695). Er erhielt sie, indem er Epidermispräparate von *Allium Cepa* etwa 24 Stunden in N-Rohrzucker plasmolysierte und dann unterm Deckglas langsam Leitungswasser zusetzte. In vielen Zellen, wo an der Protoplastenoberfläche sich bereits eine »Haptogenmembran« zu bilden begonnen hatte, ging die Plasmolyse nicht mehr normal zurück, sondern in der Art, daß »an irgend einer Stelle des Protoplasten das Plasma bruchsackartig vorquillt".

Ganz analog werden wohl zahlreiche Kerbplasmolysen bei meinen Ausdehnungsversuchen (§ 9*f*) entstanden sein. — Gar nicht selten sah ich aber gekerbte Protoplaste auch in Präparaten, die in derselben Lösung verweilten, oft schon nach 5 oder nach 12—24 Stunden.

Ein Fall von Kerbplasmolyse ist höchstwahrscheinlich nicht durch nachträgliche Ausdehnung verursacht. Bei Stufenversuchen sah ich manchmal, wie ein in schwächerer Lösung normal plasmolysierter Protoplast in den nächst stärkeren Kerben bekam. Ein drastischer Fall ist in Taf. I, 2 abgebildet. In Versuch 6 ist zufällig in einer von den zwei Zellen, die in 0·30 GM zum Zeichnen gewählt worden waren, nach zweistündiger weiterer Plasmolyse in 0·35 GM Kerbplasmolyse eingetreten. Der Protoplast war sonst gesund, er vertrug nachher sogar noch die weitere Plasmolysierung in 0·40 und 0·50 GM und die ungewöhnlichen Strapazen des mehrfachen Übertragens beim Messen und Zeichnen und bewahrte dabei die Proportionalität und, was das merkwürdigste ist, die Kerbe war bis zur letzten Messung in 0·50 GM wieder vollständig ausgeglichen. Der gewiß interessante Mechanismus dieser letzten Erscheinung muß vorläufig dahingestellt bleiben.

Unter allen in diesem Paragraphen besprochenen abnormalen Plasmolyseformen ist die Kerbplasmolyse die einzige, deren pathologischer Charakter nicht durchwegs feststeht.

Durch das von Küster festgestellte Entstehen der Kerbpl. durch bruchsackartiges Hervorquellen des Protoplasmas aus der erstarrenden Hautschicht und durch das abgebildete Auftreten von Kerben an gesunden, sich kontrahierenden Protoplasten wird bewiesen, daß die ähnlichen Bilder mindestens auf zwei ursächlich verschiedene Arten entstehen können.

8. (Taf. II, Abb. 17.) Selten zeigen einzelne Protoplaste anstatt Kerben tiefe, fjordartige, innen schwach erweiterte Einschnürungen. Abb. 17 ist eine innere Markzelle, statt der Chloroplaste sind hier die Stärkekörner um den Kern systrophiert. —

Allerlei Abnormalitäten der Zellen mit lebendem Kern und Plasma sind hier freilich noch nicht einreihbar.

9. Bei der abnormalen fortschreitenden Plasmolyse in Rohrzucker ist, wie ich jetzt zu § 10*a* nachtrage, die Meniskusrundung nur am Anfang gleichmäßig; später wird die Krümmung ungleich. Besonders heben sich die Protoplaste oft auch seitlich von den Längswänden auf weitere Strecken ab.

10. Noch später werden sie, wie bekannt, faltelig und schrumpfen endlich unregelmäßig ein.

Auch die isolierten Tonoplaste sind nicht immer, wie in Abb. 11, gleichmäßig rund.

11. Auch sie können Kerben aufweisen, wie in Abb. 16 beide Teiltonoplaste: »Kerbtonoplast«.

12. Wenn sie die Semipermeabilität einbüßen, verlieren sie auch ihre pralle Spannung: schrumpfender Tonoplast.

Die folgenden Versuche sollen ein ganz beiläufiges Bild geben von dem Mengenverhältnis, in dem die verschiedenen Formen in einigen speziellen Fällen auftraten. Ich durchmusterte in älteren, seit 3 bis 6 Tagen in Rohrzucker plasmolysierten *Tradescantia*-Längsschnitten die noch lebenden Zellen und versuchte, die beobachteten Abnormalitäten zu klassifizieren.

	Versuch	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.
	0·30 GM Rohrz.	26.–30./VI.	26.–30./VI.	5.–11./VII.	5.–11./VII.	6.–11./VII.	11.–14./VII.	11.–14./VII.
	A. Der ganze Protoplast lebt:							
1.	Protoplast normal, intakt, *v*	19	13	4	3	13	18	37
2.	Rundung etwas ungleich . .	.	5	2	2	5	1	.
3.	Protoplast auffallend verkleinert	6	2	2	.	.	.	.
4.	Kerbplasmolyse	10	2	.	.	3	4	2
5.	Kerbplasmolyse, auch seitlich abgehoben	.	1	1	.	.	4	.
	B. Tonoplastenstadium und dessen Vorstadien:							
6.	Protoplast beim Kern flach .	9	4	5	6	3	3	3
7.	» » » eingebuchtet	9	11	3	3	4	.	2
8.	Tonoplast, Rundung *v* . .	4	7	12	4	11	2	.
9.	» gekerbt	.	.	.	.	1	.	.
10.	» verkleinert . . .	1	5	3	.	1	.	.
11.	» geschrumpft . .	11	4	3	3	7	2	.
12.	*C.* Andere Abnormalitäten . .	.	2	.	1	1	2	.
13.	*D.* Protoplast tot	*z*	*z*	∞	∞	*m*	*m*	*m*

Bemerkungen: Zu 2: Hieher sind auch die seitlich abgehobenen Protoplaste gezählt. — Zu 3: Beginnende Permeabilitätserhöhung, die nur durch Messung sicher erkennbar, ist hier nicht berücksichtigt; solche Protoplaste stehen eventuell bei 1. — Zu 13: *m* = manche, *z* = zahlreiche, ∞ = sehr viele Protoplaste.

Zu 1 u. 8: *v* = vollkommen, d. h. gleichmäßig kugelig gerundet.

c) Scheinplasmolyse.

Mit diesem Ausdruck bezeichne ich ganz provisorisch eine merkwürdige plasmolytische Erscheinung, die sich unter die bisher besprochenen Fälle nirgends einreihen läßt.

In grenzplasmolytischen Versuchen mit Geweben aus gleichen Zellen, für die die Übereinstimmung im osmotischen Wert durch Stufenversuche feststeht, sind oft in schwachen, noch hypotonischen Lösungen einzelne Zellen am Schnittrand stark und schön plasmolysiert. Ebenso ist in hypertonischen Lösungen, wo alle Zellen Plasmolyse aufweisen, mitunter in einzelnen der Grad der Pl. ganz ungleich stärker. Die Protoplaste selbst sind schön gerundet, haben Kern und Plasma lebend, zeigen gelegentlich Plasmaströmung und unterscheiden sich, außer eben im Grad, in nichts von den normal und endgültig plasmolysierten Nachbarn.

Die abnorm stark plasmolysierten Zellen liegen aber stets am Rande oder an dünnen Stellen der Präparate oder in der äußersten Zellage, die an die Wundfläche grenzt.

An unseren *Tradescantia*-Schnitten ist »Scheinplasmolyse« seltener. Im grenzplasmolytischen Versuch 18 (§ 9*e*, p. 49 [147]) war z. B. in 0·24 GM Rohrz. nirgends sonst eine Spur von Plasmolyse.

Nur ein paar Zellen zeigten starke, scheinbar »vollkommene« Plasmolyse und dabei lebhafte Plasmaströmung — z. B. war G in einer gemessenen

$$\frac{\overset{l:h}{18-44}}{58},\ \overset{2\,m}{2\times5},\ \overset{b}{12};\ -G=0\cdot39.$$

Diese Zelle lag am Schnittrand, die Nachbarzelle in der Längsreihe war halbiert. Der osmotische Wert der Zelle, aus $G=0\cdot39$ berechnet, wäre $O=0\cdot39\times0\cdot24=0\cdot09_1$ GM Rohrz. — Da durch mehrere Hundert Versuche die Übereinstimmung des Wertes benachbarter Zellen auf zirka 0·02 GM feststeht und die Nachbarn $=0\cdot24$—$0\cdot26$ GM waren, so ist das ganz gewiß nicht der ursprüngliche osmotische Wert!

An anderen Objekten habe ich »Scheinplasmolyse« sehr häufig begegnet. An Flächenschnitten des Stengels von *Gentiana Sturmiana* (vgl. §. 6, Versuch 1 bis 4) fand ich fast regelmäßig am Rand der Präparate einzelne Zellen ungleich stärker plasmolysiert (namentlich wenn die Grenzen der Schnitte nicht vorher durch feine senkrechte Rasiermesserschnitte markiert worden waren), so im folgenden

Versuch 30. 7./X. 1915.

Gentiana Sturmiana, Stengelepidermis.

0·45 GM Rohrz.: $G=0\cdot93$, 0·92, 0·93, 0·91, 0·91, 0·92, 0·95, 0·90; die Zellen am Schnittrand leer, tot, daneben stark plasmolysierte, z. B. $G=0\cdot68$, 0·77.

Bei *Spirogyra* pflegen alle intakten Zellen desselben Fadens im Grad der Pl. ausgezeichnet übereinzustimmen; vereinzelte findet man dazwischen außerordentlich viel stärker plasmolysiert. In einem Faden, wo in 0·45 GM Rohrz. der mittlere Grad $G_{45}=0\cdot87$ betrug, war in einzelnen »scheinplasmolysierten« Zellen $G=0\cdot48$, 0·39; die Zellen lebten, die Menisci waren genau halbkugelig.

Ich vermute, daß hier überall die gleiche Erscheinung vorliegt, die schon De Vries (1884, p. 447) für die Epidermis von *Rhoeo discolor* erwähnt:

»Am Rande der Präparate beobachtet man häufig einzelne Zellen mit viel stärkerer Plasmolyse als die übrigen aufweisen, solche Zellen sterben aus irgend einem Grunde ab und müssen von der Bestimmung der plasmolytischen Grenzkonzentration durchaus ausgeschlossen werden.«

Ohne Zweifel werden viele Beobachter in grenzplasmolysierten Präparaten solche vereinzelte starkplasmolysierte Zellen wahrgenommen haben. —

Was nun die Deutung dieser abweichend hochgradigen Plasmolyse anlangt, so ließe sie sich einfach zur bekannten abnormalen »fortschreitenden Plasmolyse in Rohrzuckerlösung« (infolge beginnender Permeabilität für die leichtest diffusiblen Zellsaftstoffe (§ 10*a*) stellen, wenn Scheinplasmolyse nicht ebenso in KNO_3 wie in Rohrzucker begegnete; dort müßte aber ja bekanntlich Permeabilitätserhöhung vom Anfang an Ausdehnung, nicht Verkleinerung der Protoplaste bewirken. Auch sind die Grade in scheinplasmolysierten Zellen noch viel abweichender von der Norm. Sie bleiben ferner, wie ich fand, in Rohrzucker merkwürdigerweise lange konstant. Das Protoplasma sieht ganz intakt aus und erweist sich nicht als permeabel. So hat »Scheinplasmolyse« also wohl mit den sub § 10*a* behandelten Fällen gar nichts zu tun.

Der Mechanismus des Zustandekommens bleibt ganz unerklärt. Eine nähere Analyse verspricht vielleicht in mehrfacher Hinsicht Interesse. Daß in dem dauerfähigen Zustand osmotisches Gleichgewicht zwischen Außenlösung und Zellsaft besteht, ist außer Zweifel, ebenso aber, daß der osmotische Wert des scheinplasmolysierten Protoplasten nicht mehr der ursprüngliche ist.[1]

---

[1] Eine Möglichkeit wäre, daß unmittelbar nach dem Schneiden, vor der Plasmolyse, ein Teil des Zellsaftes in die verletzten toten Nachbarzellen hinüberdiffundiert wäre (bei *Tradescantia* etwa durch die Tüpfel in der Mitte der Querwand, wo das Protoplasma auch so stark adhäriert). Bei der Plasmolyse hätte dann der sich loslösende Protoplast sich gewissermaßen wieder „ausgeheilt«?

Wenn einmal die wahre Natur der Erscheinung aufgehellt sein wird, dann wird auch der Name »Scheinplasmolyse« durch einen passenderen zu ersetzen sein.[1]

Für unsere Methodik war die Erwähnung der Scheinplasmolyse unbedingt nötig. Die Berechnung des osmotischen Wertes für Gewebe müßte ja, würden zufällig scheinplasmolysierte Protoplaste zur Messung ausgewählt, notwendig fehlerhaft niedrige Werte vortäuschen. — Keine andere Abnormalität hat mir während der Ausarbeitung der plasmol.-vol. Methode so große Schwierigkeiten bereitet, wie die »Scheinplasmolyse«, die weder an der Protoplastenform noch nach dem Proportionalitätsgesetz exakt zu qualifizieren ist. Sie schien mir zeitweilig die Berechtigung des ganzen Prinzips in Frage zu stellen.

Die Schwierigkeit fällt weg, wenn man beachtet:

1. die relative Seltenheit und die geringe Zahl scheinplasmolysierter Zellen im Vergleich zu den normalen;

2. ihre Lokalisation am Schnittrand und an Stellen, wo eine vorangegangene Schädigung evident ist;

3. wenn man es grundsätzlich vermeidet, zumal in schwach- und in grenzplasmolysierten Schnitten, solche Zellen für die Messungen zu wählen, die sich im Übersichtsbild der Aufmerksamkeit durch besonders starke und schöne Plasmolyse aufdrängen.

III. Anwendung.

§ 11. Osmotische Wertbestimmung. Vergleich der plasmolytisch-volumetrischen und der grenzplasmolytischen Methode.

Die Versuche und Beobachtungen, über die im experimentellen Teil berichtet worden ist, galten in letzter Linie der Lösung der im Eingang der vorliegenden Arbeit ausgesprochenen Aufgabe, der genauen kritischen Bestimmung des wahren osmotischen Wertes lebender Pflanzenzellen, auf den turgorlosen Zustand bezogen. Es ist ja das die Aufgabe, welche die Entstehung unserer Methode ursprünglich veranlaßt hat. — Schon während der Ausarbeitung zeigte es sich aber bald, daß die plasmol.-vol. Methode, zu weit vielseitigerer Anwendung geeignet, vielleicht zum Studium von Problemen bestimmend würde beitragen können, die heute noch mehr im Vordergrund des physiologischen Interesses stehen. Ich meine da Protoplasmapermeabilität, chemische Umsetzung im lebenden Protoplasten, speziell Osmoregulation, Charakterisierung zellpathologischer Zustände — ein paar erste diesbezügliche Versuchsanstellungen hatten wir ja schon in § 9 und 10 zu erwähnen Gelegenheit.

Wenn ich mich nun trotzdem entschloß, im Mittelpunkt dieser ersten Darstellung die genaue Bestimmung des absoluten osmotischen Wertes zu belassen, so geschah es deshalb, weil dies ja die Grundaufgabe ist, aus deren Lösung so viele wichtige Anwendungen direkt folgen; so schließen wir ja beispielsweise auf Permeabilität wie auf Regulation aus Änderungen des Wertes. — Freilich, nicht alle Anwendungen zählen hieher. Eine Reihe solcher wird sich, wie ich hoffe, mehr unabhängig von der Wertbestimmung, schon allein aus dem Begriff des Grades der Plasmolyse ergeben, respektive aus der näheren Charakterisierung, der das Phänomen der Plasmolyse durch unsere zahlenmäßige Bestimmung des Grades erst zugänglich wird.

[1] Etwa »Wundplasmolyse«.

Für die absolute osmotische Wertbestimmung lebender Zellen hat bisher fast allein[1] die grenzplasmolytische Methode gedient. Mit ihr haben wir die plasmol.-vol. Methode im Laufe der experimentellen Untersuchungen bei mehrfacher Gelegenheit verglichen. Wir haben eine Reihe von Vorteilen der neuen Methode hervorgehoben, daneben auf Nachteile und Schwierigkeiten hingewiesen. Beide sollen nunmehr kurz rekapitulierend zur Übersicht zusammengestellt werden.

Einen Fortschritt bedeutet die plasmol.-vol. Methode in folgenden Punkten:

1. Sie ermöglicht die osmotische Wertbestimmung für individuelle Einzelzellen, während grenzplasmolytisch in der Regel nur Mittelwerte für größere Zellkomplexe oder Gewebe gefunden werden können.

2. Schon eine Messung an einem Präparat gibt einen Wert. Die Forderung der grenzplasmolytischen Methode, daß mehrere möglichst gleiche Präparate zur Verfügung sein müssen, fällt weg.

3. Durch Vornahme mehrerer Messungen an denselben Protoplasten in verschieden starken Lösungen läßt sich die Zuverlässigkeit des Resultates beliebig steigern — »Stufenversuche«; letztere sind freilich für plasmareiche Zellen zur Gewinnung der Protoplasmakorrektur (§ 5) direkt notwendig.

4. Man braucht zum Arbeiten nur wenige Lösungskonzentrationen. Das unbequeme Herstellen zahlreicher Konzentrationen in kleinen Abständen für die Grenzbestimmung kann erspart werden.

5. Die starken Grade der Pl., mit denen die plasmol.-vol. Methode arbeitet, sind im Mikroskop besser wahrnehmbar als Grenzplasmolyse. Endgültige (perfekte) Plasmolyse kann von eintretender an der Umrißform der Protoplaste weit sicherer unterschieden werden, ebenso meist normale von abnormaler.

6. Es läßt sich zeigen (§ 6, 9 *a*), daß im Bereich der Grenzplasmolyse vielfach die Adhäsion des Protoplasmas an der Zellwand den ersten Eintritt der Pl. hindert, eine wichtige Fehlerquelle der grenzplasmolytischen Methode, die durch die Betrachtung der stärkeren Grade ausgeschlossen wird.

7. Dadurch mögen bisher osmotische Unterschiede zwischen benachbarten Zellen zum Teil nur vorgetäuscht worden sein. Wo sie wirklich bestehen, kann das nun durch Stufenversuche eindeutig festgestellt werden.

8. Bei der grenzplasmolytischen Methode muß oft durch Schätzung entschieden werden, in welcher Konzentration eben die Hälfte der Zellen Plasmolyse aufweise; auch ist es Willkür, wie starke Pl. noch als Grenzplasmolyse zu gelten habe. An Stelle subjektiver Schätzung tritt nun objektive Messung. Ein günstiger Umstand im Interesse der Objektivität ist noch besonders, daß das Endresultat während der Mikrometerablesung absolut noch nicht zu ersehen ist, sondern sich ja erst bei der nachträglichen Berechnung zeigt.

9. Endlich ist die erreichbare Genauigkeit meist bedeutend größer.[2]

Dem gegenüber stehen die Schattenseiten der plasmolytisch-volumetrischen Methode:

1. Die weitaus größte Beschränkung ist natürlich dadurch gegeben, daß für unregelmäßig geformte Zellen die Volumbestimmung aus praktischen Gründen unmöglich wird. — Wenn man vielleicht auch hinfort für osmotische Wertung vorzüglich zylindrische Zellen zu wählen bestrebt

---

[1] Alle Methoden, die den osmotischen Druck von Preßsäften bestimmen, liefern ja im günstigsten Falle Durchschnittswerte für ganze Pflanzenteile. Für turgeszente Gewebe kommt außerdem die De Vries'sche Methode der Gewebespannung (1884, p. 484) in Betracht, für turgeszente Zellen die so wichtigen, nach Schluß meiner Versuche von Ursprung und Blum (1916 *d*) beschriebenen Methoden, die auch auf Volummessung der Zellen beruhen.

[2] Einige von diesen Vergleichspunkten betreffen die Mehrzahl der Objekte, doch nicht die klassischen »Indikatorgewebe“ der grenzplasmolytischen Methode und die an ihnen ausgeführten Untersuchungen.

sein wird (an denen ja wahrlich kein Mangel ist), wenn Inhaltsberechnung auch für andere Zellen sich durchführen läßt, so wird doch sicher für viele Zellen die Methode versagen und die grenzplasmolytische allein anwendbar bleiben.

2. Eine Hauptfehlerquelle ist dann, daß die wenigsten Zellen völlig mathematischen Körpern gleichen, daß z. B. für annähernd zylindrische Zellen genaue Formeln verwendet werden müssen. — Dies sind die zwei wichtigsten Nachteile.

3. Das plasmolytisch-volumetrische Arbeiten ist mit größerem Zeitaufwand verbunden, Messung und Berechnung sind mühsamer als die direkte Beobachtung der Grenzplasmolyse.

4. Daran knüpft sich eine sachliche Gefahr: Die Ablesung am Einzelpräparat dauert, wenn als Norm z. B. zehn Protoplaste gemessen werden, etwa 10 bis 15 Minuten.[1] Während dieser Zeit muß jede Konzentrationsänderung des Lösungstropfens, in dem das Präparat liegt, aufs allersorgfältigste hintangehalten werden.

Es sei hier eine allgemeine Bemerkung gestattet. Die plasmol.-vol. Methode darf zwar vielleicht als eine Präzisionsmethode gelten, sie liefert aber nur bei sorgfältiger Einübung des Beobachters und genauester Kenntnis des Objektes zuverlässige Resultate! Für mehr gelegentliche Beschäftigung mit osmotischen Messungen wird die alte grenzplasmolytische Methode immer empfehlenswerter bleiben.

5. Die starke Plasmolyse braucht oft stundenlang bis zum Perfektwerden. Daraus können Bedenken entstehen, ob der Wert im Moment der Ablesung dem ursprünglichen Wert noch gleichgesetzt werden darf (vgl. aber § 9*c*)[2].

6. Der Einfluß des protoplasmatischen Wandbeleges bildet eine unliebsame Komplikation, doch wohl nur eine geringe Beschränkung in der Anwendbarkeit.

7. Ein Einwand wäre schließlich, daß doch nur eine beschränkte Zahl von Zellen gemessen werden kann, deren Auswahl ja subjektiv ist. In der Tat braucht es wieder großer Erfahrung am Einzelobjekt, um abnorme Protoplaste sicher auszuschließen (z. B. besonders die »scheinplasmolysierten«, § 10*c*). Sonst darf beispielsweise aus 10 gemessenen Zellen, wenn die nachträgliche Berechnung Übereinstimmung ergibt, wohl auf die Gesamtheit geschlossen werden.

* * *

Es erübrigen noch ein paar Bemerkungen über die Genauigkeit der plasmolytisch-volumetrischen und der grenzplasmolytischen Resultate.

Den Grad der Pl. haben wir für zylindrisch-prismatische Zellen im günstigen Fall auf 2 Dezimalen und darüber, allgemein auf ±0·01 genau ermitteln können. Der osmot. Wert für die Einzelzelle ist dann, je nach der Konzentration des Plasmolytikums (z. B. 0·30—0·60 GM Rohrz.) als auf ± 0·003—0·006 GM Rohrz. genau bestimmt anzunehmen.

Der Mittelwert für Gewebe[3] wird noch genauer, denn die Messungsfehler, mit denen die Einzelzellwerte behaftet sind, wirken nicht einseitig und gleichen sich aus. — Dazu passen nun unsere Stufenversuche gut. Sie beweisen, auch ohne alle theoretische Genauigkeitsüberlegungen, daß für ein günstiges Objekt die Übereinstimmung der durch unabhängige Messung gewonnenen Werte bis auf ±0·001—0·002 GM Rohrz. steigen kann.

---

[1] Die Zeit würde kürzer, wenn die abgelesenen Zahlen einer zweiten Person diktiert würden.

[2] Dafür ist die perfekte starke Pl., wie erwähnt, an der Rundung der Menisci sicher zu kennen und die Gefahr einer Verwechslung mit imperfekter Pl. besteht nicht.

[3] Nur um die Wertbestimmung für Gewebe kann es sich eigentlich bei unserem Vergleich handeln. Zellen konnten ja strenggenommen grenzplasmolytisch überhaupt nicht gewertet werden.

Die mit der grenzplasmolytischen Methode erreichbare Genauigkeit ist nun zwar im Höchstfalle nicht eben viel kleiner. De Vries gebrauchte als Indikatorgewebe solche, wo bei einer Lösungsdifferenz von nur 0·01—0·02 GM KNO_3 alle Zellen vom unplasmolysierten in den plasmolytischen Zustand übergehen, und Fitting zeigte, daß nach verschiedenen methodischen Verbesserungen für die klassische *Rhoeo discolor* noch Abstufungen von 0·0025 GM KNO_3 als deutlich verschieden stark plasmolysierend erkannt werden. — Noch kleiner dürfen allerdings auch für dieses günstigste Objekt die Konzentrationsabstände, ohne daß die Klarheit leidet, nicht werden (Fitting, 1915, p. 8).

Wenn wir aber die ganz wenigen Indikatorgewebe ausnehmen, so ist solch genaue Wertbestimmung in der Regel grenzplasmolytisch ganz und gar nicht möglich. Es ist da lehrreich, sich in der Literatur der letzten zwei Jahrzehnte umzusehen.

Die meisten Autoren haben (für gewöhnliche Objekte) Konzentrationsdifferenzen von 0·05 GM KNO_3 verwendet — und dies mit gutem Recht. Seltener gebrauchte man Stufen von 0·02 (—0·01) GM. Der plasmolytische Wert wurde dann im ersten Fall auf 0·05 oder auf 0·025 GM genau angegeben, je nachdem man die erste plasmolysierende Konzentration oder eventuell auch das Mittel zwischen ihr und der nächstunteren als Grenze annahm.

Der mögliche grenzplasmolytische Fehler ist nun immer zumindest gleich dem halben Abstand benachbarter Konzentrationen.[1] Das ist selbstverständlich und ist in der überwiegenden Mehrzahl der Arbeiten natürlich auch beachtet worden.[2]

Und dadurch, daß man einfach die Intervalle kleiner wählt, läßt sich für die meisten Gewebe die Genauigkeit der Wertung nicht, oder doch gar nicht viel, weiter erhöhen. Das zulässige Mindestmaß wird bald erreicht, wie das ja jedem, der plasmolytisch gearbeitet hat, gar wohl bekannt ist.

So dürfen wir zusammenfassend aussagen, daß für Gewebe aus zylindrisch-prismatischen Zellen (die nicht etwa gerade »Indikatorgewebe« sind) die Genauigkeit der grenzplasmolytischen Wertbestimmung bis auf zirka ± 0·01—0·02 GM KNO_3 (also zirka = 0·015—0·03 GM Rohrz.), die der plasmolytisch-volumetrischen Methode bis auf ± 0·001—0·005 GM Rohrz. sich steigern läßt.

Die Genauigkeit der plasmolytisch-volumetrischen Methode ist 5 bis 10 mal größer. —

Ich darf den Vergleich zwischen der alten und der neuen plasmolytischen Methode nicht beschließen, ohne noch mit allem Nachdruck auf einen Punkt hinzuweisen, der in der bisherigen Darstellung vielleicht zu wenig hervorgetreten ist. Die plasmolytisch-volumetrische Methode will die grenzplasmolytische nicht ersetzen. Beide Methoden sollen nebeneinander bestehen. Die grenzplasmolytische bleibt für unregelmäßig geformte Zellen allein anwendbar. Sie wird als die einfachere oft auch da vorzuziehen sein, wo beide möglich sind. Nur wäre es zu begrüßen, wenn auch beim grenzplasmolytischen Arbeiten zur Sicherung des Resultates stets der plasmolytische Zustand in stärkeren Lösungen (und der beiläufige Grad der Pl. in diesen) mit berücksichtigt würde.

§ 12. Ausblick auf weitere Anwendungen.

Das nächste Anwendungsgebiet, das sich der plasmol.-vol. Methode ganz unmittelbar eröffnet, ist die quantitative Bestimmung der Permeabilität gesunder plasmolysierter Protoplaste für gelöste, zur Plasmolyse verwendbare Stoffe. Wie in Fitting's entscheidender Arbeit

---

[1] Vermutlich sehr oft größer; denken wir an den Adhäsionsfehler, auf den wiederholt hingewiesen wurde (vgl. p. 21, 50).

[2] Durchaus nicht überall. Tröndle (1910, p. 184) hat mit Abständen von 0·044 GM NaCl und 0·075 GM Rohrz. gearbeitet (für sein Objekt, die Palisadenzellen von Tilia und Buxus, wären kleinere Intervalle wohl auch nicht ratsam gewesen). Er gibt die Grenzwerte auf 3 Dezimalen genau an und berechnet daraus „Permeabilitätskoeffizienten«, als ob die 3. Dezimale gültig wäre!

(1915, l. c.) werden direkt die in aufeinanderfolgenden Zeitabschnitten in die Protoplaste eindringenden Lösungsmengen bestimmt. Doch ergeben sich zwei wichtige methodische Erweiterungen: Die Permeabilitätsbestimmung gelingt für individuelle Einzelprotoplaste — sie dehnen sich in hypertonischen Lösungen permeierender Stoffe langsam aus, der Grad der Plasmolyse braucht einfach zu aufeinanderfolgenden Zeiten gemessen und die Wertdifferenz berechnet zu werden — und die Größe der Permeabilität läßt sich außer für isotonische auch für alle hypertonischen Konzentrationen direkt bestimmen. Die Versuchsanstellung wird sehr einfach. Normale und pathologische Durchlässigkeit ist unschwer auseinanderzuhalten. — Die ersten Versuchsreihen für KNO_3 und Harnstoff liegen mir fertig vor und sollen demnächst mitgeteilt werden.[1]

Am plasmolysierten Protoplasten werden ebenso unmittelbar wie die Permeabilität (aus der Wertzunahme infolge Eindringen wirksamer Substanz von außen her) auch andere osmotische Wertänderungen gemessen werden können; unter diesen dürften regulatorische Vorgänge an Interesse obenanstehen.

Wertänderungen an unplasmolysierten Protoplasten (zum Beispiel osmotische Schwankungen intakter Zellen[2] oder Permeabilität in hypotonischer Lösung) lassen sich zwar nicht in ihrem ganzen Verlauf, sondern nur in ihrem Endeffekt durch nachträgliche Plasmolyse studieren. Neben der grenzplasmolytischen tritt aber auch hier die plasmol.-vol. Methode in ihr Recht überall da, wo genaue osmotische Wertbestimmung nottut und wo die kritische Sicherung der Resultate durch Stufenversuche willkommen ist. Wie zahlreich aber die hieher gehörigen physiologischen Probleme sind, die schon durch die grenzplasmolytische Methode gefördert worden sind, das ist bekannt und soll an dieser Stelle nicht erst ausgeführt werden. Auf Einzelfragen hinzuweisen, erscheint fast zwecklos. —

Die mögliche Wertung individueller Einzelprotoplaste könnte wichtig werden für weitere Studien über die Verteilung des osmotischen Wertes in benachbarten Zellen und Geweben. Auf reizphysiologischem Gebiete wird sich vielleicht die Frage, wie weit unter den unsichtbaren Vorläufern einer Bewegungsreaktion osmotische Effekte eine Rolle spielen, von neuem prüfen lassen, soweit nämlich die in Betracht kommenden Zellen zur Volummessung geeignet sind.

Während all diese genannten Anwendungen auf osmotischer Wertbestimmung im weiteren Sinne beruhen, könnte eine zweite Gruppe von Fragestellungen ausgehen von der Möglichkeit, den Grad stärkerer Plasmolyse zu messen und in Zahlen zu beschreiben. Von dieser Möglichkeit werden vielleicht manche zellphysiologische Probleme einigen Nutzen ziehen können.

Hieher gehört z. B. die Frage: Wie starke Plasmolyse vertragen Protoplaste? Die Antwort wird verschieden nach den Objekten und wohl auch verschieden je nach der Wahl des Plasmolytikums ausfallen. Die unschädlichsten Plasmolytika dürften die Wirkung der Wasserentziehung als solcher am klarsten zeigen.[3] Wenn durch die Konzentrierung des Zellsafts Inhaltsstoffe ausfallen, so ist es mikrochemisch interessant zu erfahren, bei welchem Grad der Pl. die erste Fällung erfolgt.

Die Fähigkeit plasmolysierter Protoplaste zur Regeneration der Zellmembran ist seit Klebs (1888) vielfach studiert worden. Wie sie vom Grad der Plasmolyse abhängt, kann nun untersucht werden.

Eine wichtige Rolle spielen in vorliegender Arbeit die Proportionalitätsversuche. Sie prüfen, wie weit plasmol. Protoplaste beim Überführen in Außenlösung anderer Konzentration ihr Volumen dieser genau umgekehrt proportional zu ändern vermögen. In unseren Stufenversuchen haben sich die Protoplaste in konzentrierterer Lösung tatsächlich genau proportional verkleinert. Die Fähigkeit hiezu beweist normale Semipermeabilität und normales Formänderungsvermögen des Plasmas. So wie

[1] Vgl. Lepeschkin's (1909, p. 131 f.) Methodik; die Beziehungen zu ihr sollen später erörtert werden.

[2] Ursprung und Blum (1916 *b*, *c*).

[3] Vgl. True (1898).

allgemein die Plasmolyse die »Lebensreaktion« in der Pflanzenphysiologie ist, so gewinnen wir nun in der Proportionalität im Grade der Plasmolyse eine »Gesundheitsreaktion« für pflanzliche Protoplaste, — falls ein so allgemeiner Ausdruck in der speziellen Bedeutung unveränderter Plastizität und Permeabilität zulässig erscheint.

Sich in schwächerer Außenlösung proportional auszudehnen, sind die Protoplaste meist weniger gut imstande (§ 9*f*). Im Anschluß an Küster's Untersuchungen über die Bildung von Niederschlagshäutchen um plasmolysierte Protoplaste (1910 *b*, l. c.) wäre die Frage von großem Interesse, wie die Befähigung zur Volumänderung und speziell zur proportionalen Volumänderung ohne Schädigung — Dehnung wie Kontraktion — von der Dauer der Plasmolyse abhängt. Wenn man in den Haptogenmembranen Vorläufer der Zellulosehäute sehen dürfte, mit denen lange plasmolysierte Protoplaste erfahrungsgemäß sich endlich umkleiden,[1] so wäre etwa zu untersuchen, auf wie kleine Konzentrationsdifferenzen der Außenlösung die Protoplaste nach verschiedenen Zeiten noch mit ihrem Volum reagieren. Darauf ließe sich eine Art von Festigkeitsmessung der Niederschlagshäutchen, respektive der naszierenden Zellmembranen gründen. Die Art des Plasmolytikums wird voraussichtlich von bestimmendem Einfluß sein.

Wenn einmal das Studium der abnormalen Plasmolyseformen, auf die in § 10 hingewiesen wurde, in Angriff genommen werden wird,[2] dann kann dabei die »Gesundheitsreaktion«, wie wir sie oben nannten, ein gutes Arbeitsmittel zur Charakterisierung pathologischer Protoplasmazustände werden.

Die nächste Weiterführung der Untersuchungen soll die quantitative Permeabilitätsbestimmung sein, die heute im Mittelpunkt des Interesses steht. Vielleicht wird späterhin die plasmolytisch-volumetrische Methode auf zellpathologischem Gebiet ein Hauptfeld der Anwendung finden.

* * *

Am Ende dieser meiner ersten Arbeit angelangt, ergreife ich mit Freude die Gelegenheit, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Hofrat Professor Dr. Hans Molisch, für unermüdliche Förderung seit dem Beginn meiner Studien und für die Führung auf das Arbeitsfeld, dem die vorliegenden Untersuchungen angehören, den wärmsten und ergebensten Dank auszusprechen.

Zusammenfassung der Hauptpunkte.

1. Unter dem Grad der Plasmolyse verstehe ich das Volumverhältnis zwischen dem plasmolysierten Protoplasten und dem Innenvolum der (durch die Plasmolyse entspannten) Zelle. Die Maßzahl G für dieses Verhältnis ist ein echter Bruch ($G \leqq 1$). Es werden Formeln abgeleitet, nach denen G sich für zylindrisch-prismatische, endgültig plasmolysierte Zellen in einfacher und bequemer Weise auf 2 Dezimalen genau bestimmen läßt[3] (§ 2).

---

[1] Klebs, l. c.

[2] Die in § 10 erwähnten Formen treten in Rohrzucker auf. Andere Plasmolytika bewirken andere Abnormalitäten. Vergleichende Untersuchungen über die pathologische Wirkung verschiedener Stoffe auf die Protoplaste erschienen als eine besonders dankbare Aufgabe.

[3] In der endplasmolysierten Zelle werden mikroskopisch gemessen: die mittlere Zellänge h, die Länge des Protoplasten l, die innere Zellbreite $b = 2r$ und die Höhen der Protoplasten-Menisci m. Dann ist

$$G = \frac{l - 2\lambda m}{h}.$$

λ ist der »Meniskusfaktor«. Für halbkugelige Menisci ($m = r$) ist $\lambda = \frac{1}{3}$; für kugelsegmentförmige Menisci liegt λ zwischen $\frac{1}{3}$ und $\frac{1}{2}$ und hängt als Funktion ab vom Verhältnis $m : r$; vgl. die Tabelle p. 7.

Durch die Ermittlung des Grades der Plasmolyse werden außer schwächster, eben wahrnehmbarer Grenzplasmolyse von nun an auch alle stärkeren Plasmolysen einer zahlenmäßigen, quantitativen Beschreibung zugänglich (§ 3).

2. Das Grundprinzip der plasmol.-vol. Methode ist folgendes: Ist nach Eintritt osmotischen Gleichgewichtes der Grad der Plasmolyse in einer Zelle $= G$ und ist die Konzentration der plasmolysierenden Außenlösung $= C$, so war — unter der Voraussetzung völliger Semipermeabilität des Protoplasmas für Lösung und Zellsaftstoffe — der osmotische Wert O der entspannten Zelle vor der Plasmolyse

$$O = C.G$$

Erfüllt z. B. in einer Rohrzuckerlösung, die 0·60 GM Rohrz. im Liter Lösung enthält, der endplasmolysierte Protoplast drei Viertel des Zellraumes, ist also $C = 0{\cdot}60$ und $G = 0{\cdot}75$, so war der osmotische Wert der Zelle $O = 0{\cdot}60 \times 0{\cdot}75 = 0{\cdot}45$ GM Rohrz. (§ 1).

3. Ob dieses Prinzip praktisch brauchbar ist, wird in folgender Weise experimentell geprüft:

Die plasmolytisch-volumetrische Wertbestimmung wird an gleichen Zellen, die in verschieden stark konzentrierten Lösungen plasmolysiert sind, ausgeführt. Oder ein und dieselbe Zelle wird stufenweise in immer stärker hypertonische Außenlösungen gebracht und die jeweils bewirkten Grade der Plasmolyse abgelesen (Stufenversuche). Alle Grade G müssen auf denselben osmotischen Wert O vor der Plasmolyse hinweisen; sie müssen den Außenkonzentrationen umgekehrt proportional sein (§ 4).

4. Diese »Proportionalität im Grade der Plasmolyse« besteht nun in wirklichen Versuchen mit überraschender Genauigkeit (§ 8). Der Hauptteil der Versuche wurde an den zylindrischen, an die Gefäßbündel grenzenden Grundgewebszellen aus der Stengelachse von *Tradescantia guianensis* ausgeführt. Für dieses Objekt sind z. B. in Versuch 6 die in 0·30 GM, 0·35 GM, 0·40 GM, 0·50 GM Rohrz. für dieselbe Zelle gewonnenen osmotischen Werte $O_{30} = 0{\cdot}16_{95}$, $O_{35} = 0{\cdot}17_0$, $O_{40} = 0{\cdot}17_1$, $O_{50} = 0{\cdot}17_1$ GM Rohrz. In Versuch 5 ist (im Mittel für 10 Zellen) $O_{30} = 0{\cdot}17_5$, $O_{35} = 0{\cdot}17_3$, $O_{45} = 0{\cdot}17_2$, $O_{60} = 0{\cdot}17_2$ GM Rohrz. In Versuch 7 ist $O_{40} = 0{\cdot}23_8$, $O_{50} = 0{\cdot}23_9$, $O_{60} = 0{\cdot}23_8$ GM. In Versuch 20 ist $O_{30} = 0{\cdot}20_7$, $O_{40} = 0{\cdot}20_5$, $O_{50} = 0{\cdot}20_6$ GM Rohrz.

Solche Übereinstimmung unabhängig voneinander berechneter Werte wird freilich nur bei ganz sorgfältiger Versuchsanstellung erreicht (§ 7). Sie beweist, daß die Genauigkeit der plasmolytisch-volumetrischen Methode bis auf $\pm 0{\cdot}001$—$0{\cdot}002$ GM Rohrz., das ist in unserem Fall zirka 1 bis 2‰, steigen kann, also etwa 5- bis 10 mal größer als die der grenzplasmolytischen Methode (für gleiche Objekte) werden kann.

5. Die Grundgleichung $O = C.G$ gilt zunächst nur für Zellen mit relativ dünnem protoplasmatischem Wandbeleg und großer Vakuole. Für plasmareichere Zellen stimmen die Werte aus verschieden stark hypertonischen Lösungen nicht ganz überein, sondern bilden eine aufsteigende Reihe. Die Ursache ist wohl, daß durch die Plasmolyse nur dem Zellsaft, nicht dem Plasma Wasser entzogen wird. Eine Korrektur (die »Protoplasmakorrektur«, § 5) liefert auch hier den wahren osmotischen Wert[1]. —

* *

*

[1] Ergäbe die Beobachtung in verschiedener Konzentration zum Beispiel für dieselbe Zelle die Werte: $O_{35} = 0{\cdot}31$ GM, $O_{40} = 0{\cdot}32$ GM, $O_{45} = 0{\cdot}33$ GM, $O_{50} = 0{\cdot}34$ GM, so wäre der wahre osmotische Wert $O = 0{\cdot}30$ GM.

Die speziellen Versuche mit Grundgewebszellen von *Tradescantia guianensis* haben den Zweck, an diesem einen Objekt ein Beispiel für kritische osmotische Wertbestimmung zu liefern, daneben sollen sie vorläufig ein paar Anwendungsmöglichkeiten der Methode zeigen. Plasmolytikum war Rohrzucker.

6. Aus dem Grade *G* und der Außenkonzentration *C* darf nur dann auf den ursprünglichen osmotischen Wert einer Zelle geschlossen werden, wenn die Plasmolyse endgültig, und wenn sie normal, das heißt, wenn der Protoplast intakt ist.

Es wird nun unterschieden zwischen 1. konkaver und konvexer, 2. eintretender (imperfekter) und endgültiger (perfekter) normaler Plasmolyse. Nur endgültige, konvexe Plasmolyse (»Endplasmolyse«) ist zur Wertung brauchbar. Sie ist kenntlich an der kugeligen Rundung der Protoplastenmenisci (§ 9 *a*).

7. Für die Bestimmung unveränderter Werte empfiehlt es sich, die Präparate direkt, ohne vorherigen Aufenthalt in H_2O, oder nach ganz kurzem Wässern in die plasmol. Lösungen zu bringen. Gewässerte Schnitte zeigen oft niederere Werte (für die entspannte Zelle).[1] Da die Wertverminderung bei direkter Plasmolyse und gleichlangem Verweilen in Rohrzucker ausbleibt, dürfte es sich nicht um Exosmose, sondern um Osmoregulation handeln.

8. In gewässerten Schnitten tritt aber dafür interessanterweise osmotisches Gleichgewicht und schöne Endplasmolyse viel rascher ein (§ 9 *c*).

9. In hypertonischer Rohrzuckerlösung bleibt der Grad der Endplasmolyse lange konstant. Nach 24 Stunden zeigt sich jedoch in den meisten gesunden Protoplasten eine ganz geringe, mit früheren Methoden kaum wahrnehmbare, Volumausdehnung, also Wertzunahme (im Mittel um 0·004 bis 0·006 GM Rohrz.) — wahrscheinlich infolge von Osmoregulation, nicht von Permeabilität (§ 9 *d*).

Beginnende Schädigung und Permeabilitätserhöhung bewirkt dagegen in Rohrzucker, wie seit De Vries bekannt, Exosmose leicht diffusibler Zellsaftstoffe und also Volumabnahme von viel bedeutenderer Größe (§ 10 *a*).

10. Die von Küster gefundene Systrophe der Chloroplaste und des Körnerplasmas infolge Plasmolyse wurde stets beobachtet, sie tritt in gewässerten Schnitten schneller als in direkt plasmolysierten ein (§ 9 *g*).

11. Während die Protoplaste im Stufenversuch mehrmaliges Übertragen in stärker plasmolysierende Konzentrationen ohne Schädigung aushalten (wie die Wahrung der Proportionalität im Grad der Plasmolyse beweist), sind sie viel empfindlicher gegen Rückübertragung in schwächere Lösungen; solche ist daher zur Kontrolle der Wertbestimmung nicht anzuwenden (§ 9 *f*).

12. Die Formen abnormaler Plasmolyse sind wohl zu beachten, denn sie müssen natürlich von der plasmol.-vol. Wertung ausgeschlossen werden. Es wird der vorläufige Versuch gemacht, ein System in die in Rohrzucker auftretenden Formen zu bringen. Wichtig sind vor allem das »Tonoplastenstadium« und dessen Vorstufen und pathologische Permeabilitätserhöhung. Weiteren Studiums bedarf die interessante »Kerbplasmolyse«. Ganz ungeklärt bleibt das vorläufig als »Scheinplasmolyse« beschriebene Phänomen (§ 10).

13. Mit der grenzplasmolytischen Methode, die bisher allein zur osmotischen Wertung lebender Pflanzenzellen gedient hat, wird die plasmolytisch-volumetrische Methode nach ihren Licht- und Schattenseiten verglichen. Der Hauptnachteil der neuen Methode ist ihre Beschränkung auf solche Zellen und Protoplaste, deren Gestalt genaue Volumbestimmung erlaubt, die wichtigsten Vorteile sind, neben der großen

[1] Nach 24stündiger Wässerung z. B. 0·20 statt 0·24 GM Rohrz.

Genauigkeit, die mögliche Wertbestimmung für individuelle Einzelzellen und die weitgehende Zuverlässigkeit, die die Proportionalitätsversuche den Resultaten verleihen (§ 11).

14. Eine wichtige, bisher nicht bekannte Fehlerquelle der grenzplasmolytischen Methode kann bei vielen Objekten die Adhäsion des Protoplasmas an der Zellwand werden. Zellen, deren wahrer osmotischer Wert durch Stufenversuche außer Zweifel steht, zeigen nämlich oft in ganz schwach hypertonischer Außenlösung anstatt Grenzplasmolyse noch gar keine Plasmolyse — wahrscheinlich eben wegen unüberwundener Adhäsion. Auch wo sonst der Protoplast den Wänden noch sichtlich anhaftet, ist die Plasmolyse schwächer als nach der Proportionalität zu erwarten. Schon deshalb verdienen bei der Wertbestimmung stärkere Grade der Plasmolyse den Vorzug (§§ 6, 9 *e*).

15. Wie die Plasmolyse die »Lebensreaktion«, so ist die Proportionalität im Grade der Plasmolyse ein gutes Kriterium für die Intaktheit der Protoplaste (»Gesundheitsreaktion«).

16. Es wird der Hoffnung Ausdruck gegeben, der Begriff des zahlenmäßig charakterisierbaren Grades der Plasmolyse möge sich — außer für die Bestimmung des osmotischen Wertes — auch beim Studium zahlreicher anderer physiologischer Fragen als fruchtbar erweisen. Die nächste Anwendung soll die quantitative Permeabilitätsbestimmung für Einzelzellen sein, wobei nach Fitting's Vorgang die in der Zeiteinheit durchs Protoplasma eintretenden Mengen gelöster Substanz direkt bestimmt werden können (§ 12).

Literatur.

1916. Bender F., Der osmotische Druck in den Zellen der Moose. Inaug.-Diss., Berlin-Schöneberg.

1898. Benecke W., Mechanismus und Biologie des Zerfalles der Conjugatenfäden in die einzelnen Zellen. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 32, p. 453.

1917. Blum G., Zur Kenntnis der Größe und Schwankung des osmotischen Wertes. Beih. z. bot. Zentralbl., Bd. 33, I, p. 339.

1914. Findlay A., Der osmotische Druck. Deutsch von Szivessy G., Dresden und Leipzig.

1915. Fitting H., Untersuchungen über die Aufnahme von Salzen in die lebende Zelle. Jahrb. f. wiss Bot., Bd. 56, p. 1.

1917. — Untersuchungen über isotonische Koeffizienten und ihren Nutzen für Permeabilitätsbestimmungen. Ebd., Bd. 57, p. 553.

1912. Hecht K., Studien über den Vorgang der Plasmolyse. Cohn's Beitr. z. Biologie d. Pfl., Bd. 11, p. 137.

1914. Höber R., Physikalische Chemie der Zelle und der Gewebe, IV. Aufl., Leipzig und Berlin.

1915. Holle H., Untersuchungen über Welken, Vertrocknen und Wiederstraffwerden. Flora, Neue Folge, Bd. 8, p. 73.

1915. Jellinek K., Lehrbuch der physikalischen Chemie, II. Bd., Stuttgart.

1913. Jost L., Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. III. Aufl., Jena.

1888. Klebs G., Beiträge zur Physiologie der Pflanzenzelle. Unters. aus d. Bot. Inst. zu Tübingen, Bd. 2, p. 489.

1890. — Einige Bemerkungen über die Arbeit von Went: Die Entstehung der Vakuolen in den Fortpflanzungszellen der Algen. Bot. Ztg., Bd. 48, p. 549.

1906. Küster E., Über den Einfluß wasserentziehender Lösungen auf die Lage der Chromatophoren. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges., Bd. 24, p. 255.

1910 *a*. — Über Inhaltsverlagerungen in plasmolysierten Zellen. Flora, Bd. 100, p. 267.

1910 *b*. — Über Veränderungen der Plasmaoberfläche bei Plasmolyse. Zeitschr. f. Botanik, Bd. 2, p. 689.

1908. Lepeschkin W. W., Über den Turgordruck der vakuolisierten Zellen. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges., Bd. 26, p. 198.

1909. — Über die Permeabilitätsbestimmung der Plasmamembran für gelöste Stoffe. Ebd., Bd. 27, p. 129.

1910. — Zur Kenntnis der Plasmamembran, I u. II. Ebd., Bd. 28, p. 91 und 383.

1907. Lidforss, Die wintergrüne Flora. Lund.

1904. Pantanelli A., Zur Kenntnis der Turgorregulationen bei Schimmelpilzen. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 40, p. 303.

1890. Pfeffer W., Zur Kenntnis der Plasmahaut und der Vakuolen. Abhandl. d. math.-phys. Kl. d. kgl. sächs. Ges. d. Wiss., Bd. 16, p. 187.

1897. — Pflanzenphysiologie, II. Aufl., Bd. I, Leipzig.

1912. Renner O., Über die Berechnung des osmotischen Druckes. Biolog. Zentralblatt, Bd. 32, p. 486.

1898. Rysselberghe, F. van, Rèaction osmotique des cellules végétales à la concentration du milieu. Mém. couronn. Acad. royal des sciences de Belgique. Bd. 58, p. 1.

1885. Schimper A. F. W., Untersuchungen über die Chlorophyllkörner und die ihnen homologen Gebilde. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 16, p. 1.

1910. Tröndle A., Der Einfluß des Lichtes auf die Permeabilität der Plasmahaut. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 48, p. 171.

1898. True R. H., The physiological action of certain plasmolyting agents. Bot. Gazette, Bd. 26, p. 407.

1916 *a*. Ursprung A. und Blum G., Über die Verteilung des osmotischen Wertes in der Pflanze. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges., Bd. 34, p. 88.

1916 *b*. — Über die periodischen Schwankungen des osmotischen Wertes. Ebd., p. 105.

1916 *c*. — Über den Einfluß der Außenbedingungen auf den osmotischen Wert. Ebd., p. 123.

1916 *d*. — Zur Methode der Saugkraftmessung. Ebd., p. 525.

1884. de Vries H., Eine Methode zur Analyse der Turgorkraft. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 14, p. 427.

1884 *b*. — Zur plasmolytischen Methodik. Bot. Ztg., p. 289.

1885. — Plasmolytische Studien über die Wand der Vakuole. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 16, p. 465.

1913. Winkler A., Über den Einfluß der Außenbedingungen auf die Kälteresistenz ausdauernde. Gewächse. Ebd., Bd. 52, p. 467.

1909. Wisselingh C. van, Zur Physiologie der *Spirogyra*-Zelle. Beih. z. bot. Zentralbl., Bd. 24, p. 133.

Inhalt.

Seite

I. Allgemeiner Teil . . . . . 1 [99]
§ 1. Das Grundprinzip . . . . . 1 [99]
§ 2. Die Volumbestimmung . . . . . 4 [102]
§ 3. Der Grad der Plasmolyse . . . . . 9 [107]
§ 4. Proportionalität im Grade der Plasmolyse . . . . . 11 [109]
§ 5 »Protoplasmakorrektur« . . . . . 15 [113]
II. Experimenteller Teil . . . . . 18 [116]
§ 6. Ausgangspunkt der Untersuchungen . . . . . 18 [116]
§ 7. Einzelheiten der Versuchsanstellung . . . . . 22 [120]
§ 8. Proportionalitätsversuche . . . . . 25 [123]
§ 9. Weitere Versuche an Grundgewebszellen von *Tradescantia guianensis* . . . . . 39 [137]
a) Eintretende und endgültige Plasmolyse . . . . . 39 [137]
b) Absolute Höhe des osmotischen Wertes . . . . . 40 [138]
c) Über mögliche Exosmose und Osmoregulation. Sollen die Präparate vor dem Plasmolysieren gewässert werden? . . . . . 41 [139]
d) Bleibt Plasmolyse in Rohrzucker ganz konstant? . . . . . 47 [145]
e) Grenzplasmolytische Versuche . . . . . 49 [147]
f) Geht Plasmolyse auch proportional zurück? . . . . . 51 [149]
g) Systrophe und Plasmaströmung nach Plasmolyse . . . . . 52 [150]
§ 10. Normale und abnormale Plasmolyse . . . . . 53 [151]
a) Pathologische Permeabilitätserhöhung . . . . . 53 [151]
b) Abnormale Plasmolyse, die sich an der Gestalt der Protoplaste kundgibt . . . . . 56 [154]
c) »Scheinplasmolyse« . . . . . 59 [157]
III. Anwendung . . . . . 61 [159]
§ 11. Osmotische Wertbestimmung. Vergleich der plasmolytisch-volumetrischen und der grenzplasmolytischen Methode . . . . . 61 [159]
§ 12. Ausblick auf weitere Anwendungen . . . . . 64 [162]
Zusammenfassung der Hauptpunkte . . . . . 66 [164]
Literatur . . . . . 70 [168]

Tafel I.

Tafel I.

Alle Abbildungen stellen plasmolysierte Grundgewebszellen aus der Stengelachse von *Tradescantia guianensis* Miq.[1] dar.

Zwei Stufenversuche. Die Stengellängsschnitte wurden stufenweise in Rohrzuckerlösungen steigender Konzentration plasmolysiert. Aus den jeweils erreichten Graden der Plasmolyse G und den Außenkonzentrationen C folgt der osmotische Wert

$$O = G . C.$$

Abb. 1—4: Versuch 6, vgl. Tabelle und Text in § 8, p. 30, 31 [128, 129]. Der Grad der Plasmolyse G (das ist das Volumverhältnis zwischen plasmolysiertem Protoplasten und Zellhohlraum) und der osmotische Wert O ist in

	Zelle 1 (oben)		Zelle ·2 (unten)	
Abb. 1, in 0·30 GM Rohrz :	$G_{30} = 0·565$,	$O_{30} = 0·1695$.	$G_{30} = 0·544$,	$O_{30} = 0·163$
» 2, » 0·35 GM » :	$G_{35} = 0·486$,	$O_{35} = 0·170$.	$G_{35} = 0·468$,	$O_{35} = 0·164$
» 3, » 0·40 GM » :	$G_{40} = 0·427$,	$O_{40} = 0·171$.	$G_{40} = 0·403$,	$O_{40} = 0·161$
„ 4, » 0·50 GM » :	$G_{50} = 0·342$,	$O_{50} = 0·171$.	$G_{50} = 0·319$,	$O_{50} = 0·160$.

Abb. 5—8. Versuch 20, vgl. die Tabelle § 10*a*, p. 54 [152], in 0·30 GM, 0·35 GM, 0·40 GM, 0·50 GM Rohrz.

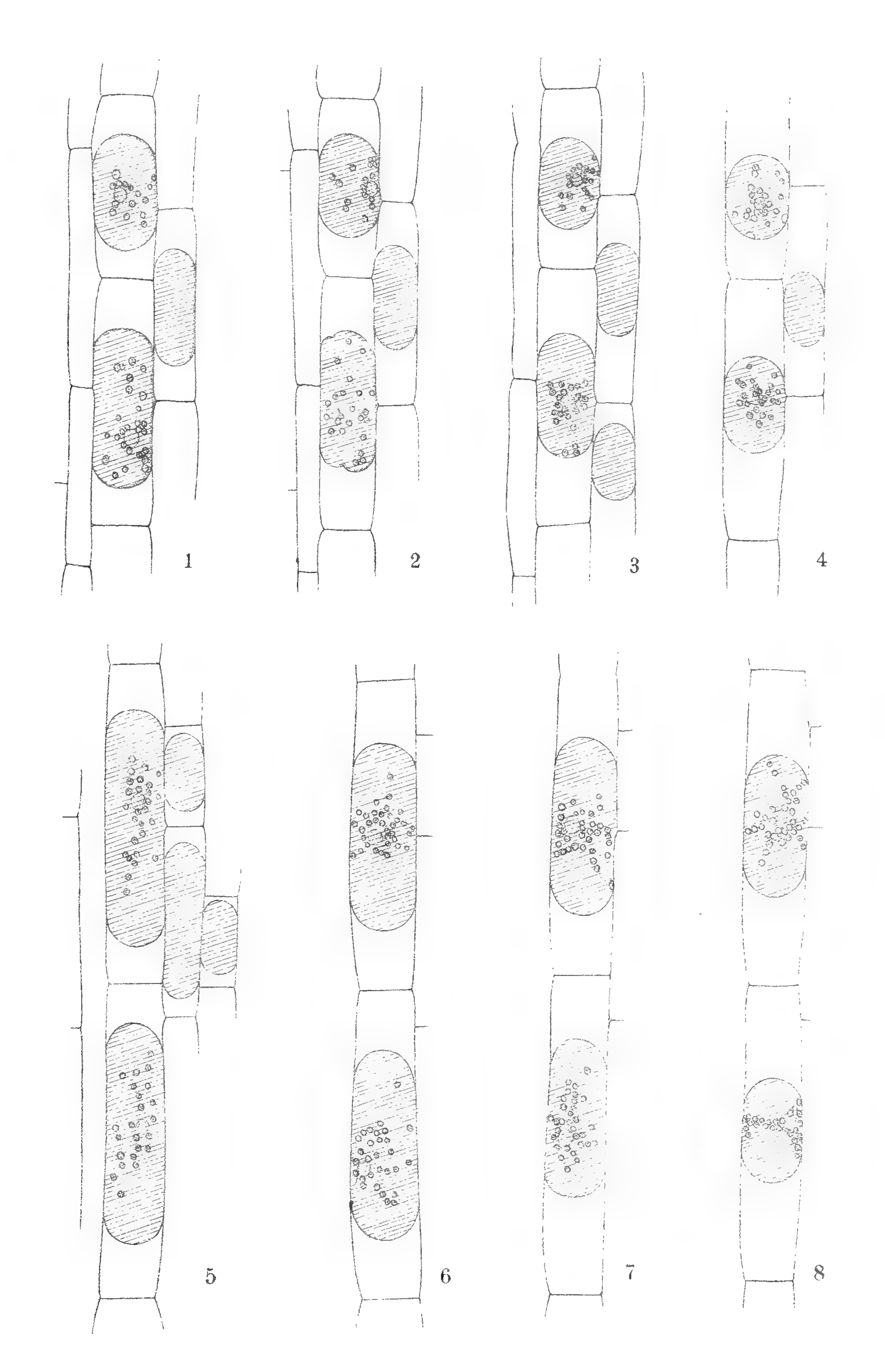
Die Grade der Pl. sind den Außenkonzentrationen umgekehrt proportional. Alle ergeben denselben osmotischen Wert für die unplasmolysierte Zelle. Nur der untere Protoplast in Abb. 8 ist zu klein.[2] Hier herrscht pathologisch erhöhte Permeabilität.

In Abb. 2 unten, schwache »Kerbplasmolyse«. Die anderen Protoplaste zeigen endgültige (= perfekte), konvexe normale Plasmolyse.

---

[1] = *Tradescantia elongata* G. F. W. Meyer.

[2] In Abb. 8 ist durch ein Versehen bei der Reproduktion die untere Zelle etwas zu klein gezeichnet, sie soll natürlich gleich groß sein wie in Abb. 5 bis 7.



Gicklhorn J. del.

Lith Anst Th Bannwarth, Wien.

Tafel

Tafel II.

Formen der Plasmolyse, die für osmotische Wertbestimmung nicht geeignet sind:

Abb. 9: Eintretende (imperfekte) konkave, normale Plasmolyse, vgl. § 9*a*, p. 40 [138].

» 10: Ebenso, die Buchten tief konkav.

» 11—17: Abnormale Plasmolyse, vgl. § 10*b*, p. 56 bis 59 [154 bis 157].

» 11: Sekundäres Tonoplastenstadium (Kern und Plasma tot, nur die Vakuolenwand lebt).

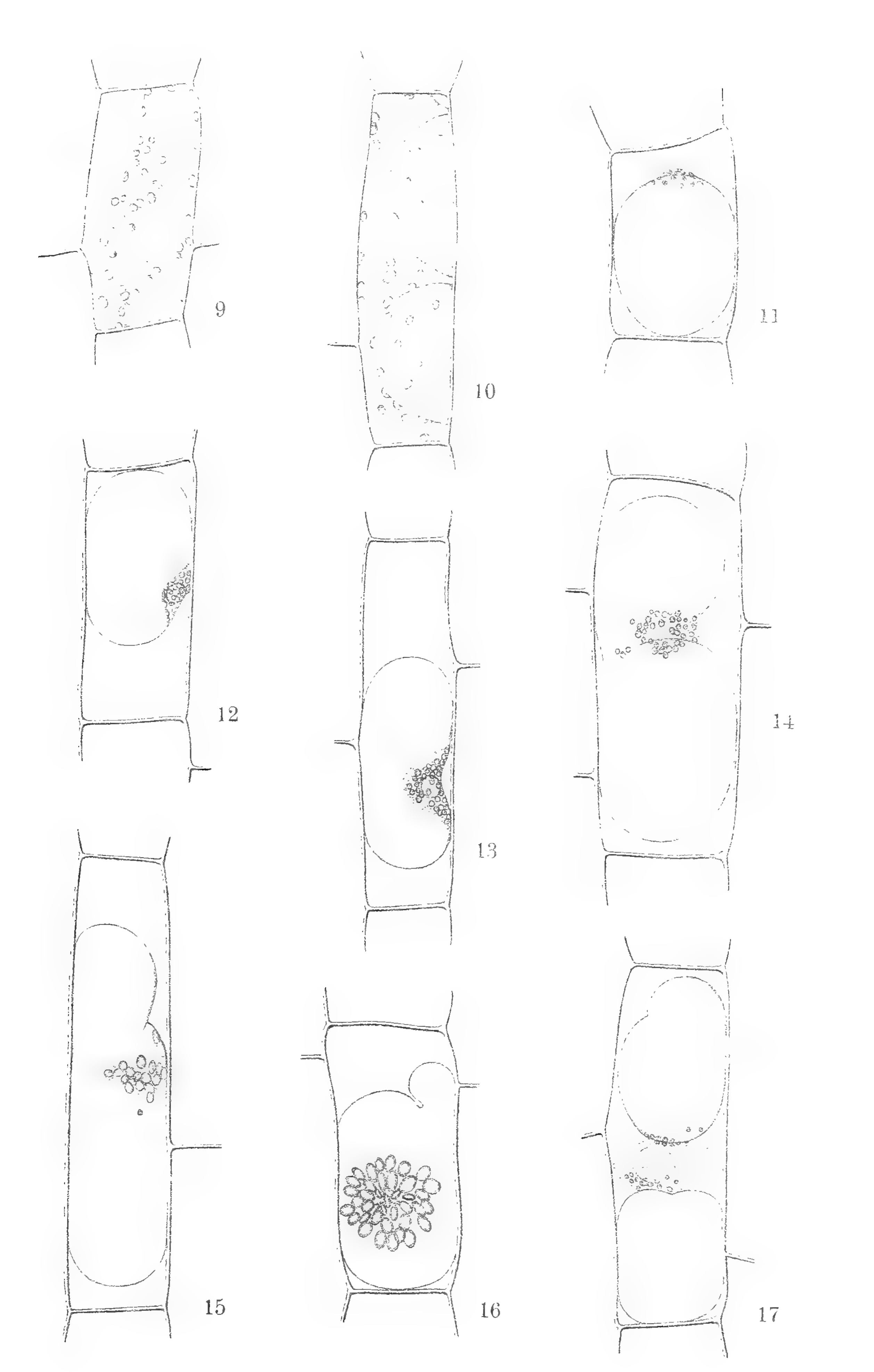
» 12, 13: Vorstufen des Tonoplastenstadiums, der Protoplast ist beim Kern flach (12) oder ausgerandet (13).

» 14: Ebenso, kurz vor der Isolierung der Vakuolen.

» 15: »Kerbplasmolyse«.

» 16: Ebenso, Einschnitt tief fjordartig.

» 17: Sekundäres Tonoplastenstadium, »Kerbtonoplast«.



Gicklhorn J. del.

Lith. Anst. Th. Bannwarth, Wien

DAS EOZÄNVORKOMMEN BEI RADSTADT IM PONGAU

UND SEINE BEZIEHUNGEN ZU DEN GLEICHALTERIGEN ABLAGERUNGEN BEI KIRCHBERG AM WECHSEL UND WIMPASSING AM LEITHAGEBIRGE

VON

DR. FRIEDRICH TRAUTH

MIT 5 TAFELN UND 5 TEXTFIGUREN

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 15. MÄRZ 1917

Vorwort.

Als Mitarbeiter an den von den Herren Professoren Hofrat Dr. Friedrich Becke und Dr. Viktor Uhlig im Jahre 1906 inaugurierten und von der hohen kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien subventionierten geologischen Untersuchungen in der Osthälfte der Hohen Tauern und ihrer Umrahmung war mir u. a. auch die Aufgabe zugefallen, das 1889 von C. W. von Gümbel bei Radstadt im Pongau entdeckte und seither wegen seiner isolierten Lage am Südrande der nördlichen Kalkzone so merkwürdig gebliebene Eozänvorkommen eingehender zu studieren und seine Bedeutung für die erdgeschichtlichen Verhältnisse des Alpengebirges einer Klärung entgegenzuführen.

Auf mehreren im August und September 1906 und 1907 veranstalteten Exkursionen bin ich zu der Überzeugung gelangt, daß dasselbe auf sekundärer Lagerstätte in Geröllen erscheint, bei dieser seiner wohl miozänen Umlagerung aber jedenfalls nur einen sehr kurzen Transport erlitten hat. Anstehende Eozänreste habe ich trotz eifrigem Suchen nirgends bei Radstadt auffinden können.

Mein Wunsch, die mikroskopische Untersuchung der aufgesammelten Eozängerölle durch unseren ausgezeichneten Foraminiferen-Forscher Dr. Richard J. Schubert ausgeführt zu sehen, ist leider nicht in Erfüllung gegangen. Wenige Monate, nachdem er mir in liebenswürdiger Weise deren Bearbeitung zugesagt hatte, ist der blutigste Krieg über unser Vaterland hereingebrochen, der Dr. Schubert's schaffenfreudigem Leben — mitten in seiner Vollkraft — ein jähes Ende gesetzt hat, ein herber Verlust für alle seine Freunde und seine geliebte Wissenschaft.

So habe ich mich nun, sollte die Beschreibung der Radstädter Mikrofossilien nicht in allzu weite Ferne gerückt werden, entschließen müssen, mich deren mühsamem Studium selbst zuzuwenden. Die Ergebnisse davon erlaube ich mir hiemit der Öffentlichkeit zu übergeben.

Die von Professor Dr. Karl Diener, Dr. Hans Mohr und Dr. Leopold Kober betonte Ähnlichkeit des Vorkommens der Eozänbildungen von Kirchberg am Wechsel und Wimpassing am Leithagebirge mit jenem von Radstadt — sie alle liegen südwärts von der Kalkalpenzone — haben es mir wünschenswert

erscheinen lassen, dieselben, so wie es auch Dr. Schubert geplant, in die gleiche Arbeit einzuschließen und ihre gegenseitigen biologischen, fazielien und stratigraphischen Beziehungen genauer zu ermitteln.

Für die mir hiezu aus dem Nachlasse Dr. Schubert's freundlichst zur Verfügung gestellten, der k. k. geologischen Reichsanstalt gehörigen Dünnschliffe Nr. I bis IV des Wimpassinger und Nr. V bis IX des Kirchberger Eozäns[1] bin ich Herrn Chefgeologen Bergrat Dr. Julius Dreger aufrichtigst verbunden.

Besten Dank schulde ich Fräulein Lotte Adametz, der bewährten Zeichnerin und Lichtbildnerin an unserem Museum, welche mir die Textfiguren und zahlreichen, die Tafeln füllenden Mikrophotogramme aufs schönste und sorgfältigste ausgeführt hat.

Für die Erlaubnis, die Aufnahmen mit dem mikrophotographischen Apparate der mineralogisch-petrographischen Abteilung des k. k. naturhistorischen Hofmuseums machen lassen zu dürfen, fühle ich mich deren Direktor, Herrn Regierungsrat Prof. Dr. Friedrich Berwerth, für die dabei erteilte Anweisung zum Gebrauche des Apparates Herrn Kustos Dr. Rudolf Köchlin besonders verpflichtet.

Die Herren Kustos Dr. Rudolf Sturany und Kustos-Adjunkt Dr. Otto Pesta haben mir in bereitwilliger Weise die ihnen unterstellten zoologischen Sammlungen des k. k. naturhistorischen Hofmuseums für vergleichende Studien geöffnet und mein Freund Dr. Julius v. Pia sich trotz der beschränkten Zeit eines militärischen Urlaubes der Mühe unterzogen, eine von mir in Dünnschliffen entdeckte Dasykladazee eingehend zu studieren und für diese Abhandlung zu beschreiben, wofür sie alle meiner aufrichtigen Erkenntlichkeit versichert sein mögen.

Endlich drängt es mich, meinem Abteilungsvorstand Herrn Kustos Prof. Dr. Franz X. Schaffer für die verständnisvolle Förderung, die er mir während des ganzen Verlaufes meiner Untersuchung hat zuteil werden lassen, wie der hohen kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien für die meiner Arbeit im Gebiete von Radstadt aus der Boué-Stiftung gewährte Subvention meinen ergebensten Dank auszusprechen.

Wien, geologisch-paläontologische Abteilung
des k. k. naturhistorischen Hofmuseums
am 12. Jänner 1917.

F. Trauth.

[1] Hingegen befinden sich die als Nr. 1 bis 35, 36 bis 37 und 38 bis 39 bezeichneten Dünnschliffe von Radstadt, bezüglich Wimpassing und Kirchberg in der geologisch-paläontologischen Sammlung des k. k. naturhistorischen Hofmuseums.

I. Allgemeiner Teil.

Das Eozän bei Radstadt im Pongau.

Entdeckung und spätere Mitteilungen.

Der Entdecker der foraminiferenführenden Eozängesteine bei Radstadt im Pongau ist C. W. v. Gümbel[1] gewesen, welcher am 1. August 1889 in der südöstlich vom Radstädter Bahnhofe gelegenen und mit einem Steinbruche verbundenen Lobenauer Ziegelei (nahe der Kerschbaummühle) zahlreiche »Bruchstücke« eines kalkigen und wegen seines Quarzgehaltes von ihm als »kalkkieselig« bezeichneten Gesteines voll Nummuliten auffand,[2] die er der Gruppe des *Nummulites Lucasanus* und *N. intermedius* zuschreiben wollte.[3]

Wenn Gümbel meinte, daß diese Nummulitengesteine mit einer »großartig entwickelten tertiären Quarzbreccie« in Verbindung ständen, die allerdings meist schwierig von dem stark zerklüfteten, benachbarten Trias-(Mandling-)-Dolomit zu unterscheiden und auf der alten geologischen Karte fälschlich als dunkler Muschelkalk eingezeichnet sei und die mit mächtigen Felsen vom Flachautale (Feuersang) bis über den Paß Mandling (Pacher) die Nordseite der triadischen Mandlingkette zu begleiten scheine, so bedürfen diese Angaben einer entschiedenen Berichtigung.

Wie unsere genaue Begehung des besagten Gebietes ergeben hat, handelt es sich dabei um keine tertiäre Quarzbreccie, sondern einen quarzfreien, rotweißscheckig verwitternden Breccienkalk von triadischem Alter und ziemlich geringer Mächtigkeit, der sich vom Lobenauer Steinbruche, wo er als Straßenschotter, insbesondere aber zum Kalkbrennen abgebaut wird, bis zu den Zaimbergen ostwärts hinzieht, den wir jedoch weiter gegen Osten und Westen nicht mehr angetroffen haben. Durch Übergänge sowohl mit dem hellen brecciösen Mandlingdolomit im Liegenden (Süden) als mit dem knolligen rotdurchäderten Dachsteinkalk, welcher namentlich die Nordabstürze der Zaimberge bildet, im Hangenden (Norden) verknüpft, dürfte er eine sedimentäre Grenzbildung zwischen beiden Niveaus darstellen. Er trägt wie diese oberflächlich die Eozängerölle — anstehendes Eozän kennen wir bei Radstadt nicht —, die wir hingegen, in Widerspruch mit einer Angabe Gümbel's, niemals auf älterem phyllitischem Untergrunde beobachten konnten.

Auch darin, daß Gümbel die nummulitenreichen Gesteine von Radstadt als eine mit den die sogenannte Tertiärbreccie angeblich unterteufenden Tonen (Letten) der Lobenauer Ziegelei und den lignitführenden, sandigen Schichten des Wagreiner Tertiärzuges zusammengehörige und dem Alttertiär von Reit im Winkel äquivalente Ablagerung betrachtet hat, vermögen wir ihm nicht zu folgen. Nur insoferne, als wir dabei nicht die Eozängesteine als solche, sondern bloß ihr geröllartiges Vorkommen auf sekundärer Lagerstätte vor Augen haben, dürften sie derselben Bildung wie jene Tone und Sandsteine zugerechnet werden, die aber wohl ein miozänes (mediterranes) Alter besitzen.

---

[1] C. W. v. Gümbel, Über einen Nummulitenfund bei Radstadt (1889), p. 231.

[2] Wie F. R. v. Hauer (Jahresbericht für 1889, Annal. d. k. k. naturh. Hofmus, Bd. V, p. 71) berichtet, ist dieses Nummulitenvorkommen bei der Lobenau bald nach seiner Entdeckung von F. Berwerth besucht worden, der hier auch eine Aufsammlung vornahm.

[3] Während wir im Radstädter Eozän das Auftreten der Lutétien-Spezies *Nummulites perforatus* de Montf. konstatieren konnten, deren makrosphärische Form man früher als *N. Lucasanus* Defr. zu bezeichnen pflegte, fehlt hier nach unseren Beobachtungen der für das Oligozän charakteristische und zum Beispiel bei Reit im Winkel vorkommende *N. intermedius* d'Arch. gänzlich.

In seiner 1890 erschienenen und hauptsächlich den Gasteiner Quellen gewidmeten Studie[1] hat sich C. W. v. Gümbel neuerdings mit dem Radstädter Eozän beschäftigt, wobei er aus dessen »kalkig-kieseligen«, von ihm nun dem Paläogen von Oberburg in Steiermark gleichgestellten Gesteinen außer den in großer Menge angehäuften kleinen Nummuliten aus der Gruppe des *Nummulites Lucasanus* noch in den Dünnschliffen sichtbare vereinzelte Exemplare größerer Nummulitenarten, ferner zahlreiche Orbitoiden, ähnlich *Orbitoides papyracea,* und ziemlich häufige große Alveolinen, an *Alveolina Bosci* erinnernd, anführt. Der von Gümbel schon 1899 begangene Irrtum, welcher in der Beschreibung des oben erwähnten weißroten Breccienkalkes als tertiäre, von den Nummulitengesteinen begleitete Quarzbreccie besteht, begegnet uns auch hier wieder.[2]

Nachdem F. Frech[3] 1895 trotz mehrmaligem Besuche der Lobenauer Ziegelei hier keine, wie Gümbel gemeint hatte, vom Tegel unterteuften, anstehenden Nummulitengesteine wahrnehmen konnte, hat (1897) M. Vacek[4] deshalb und auf Grund wiederholter eigener Exkursionen (1893 und vorher) die von uns später bestätigte Vermutung ausgesprochen, daß es sich bei Radstadt nur um lose, das heißt auf sekundärer Lagerstätte auftretende, nicht aber um anstehende Eozänkalke handle.

Im selben Jahre traf E. v. Mojsisovics die Eozängesteine in drei beschränkten, dem Mandlingdolomit direkt auflagernden »Denudationsrelikten« an, die ihm zweifellos für eine einst viel größere Verbreitung des Eozäns auf dem Triasdolomit zu sprechen schienen. Das erste Vorkommen lag rechts am Wege von der Taurach zur Kranabetkapelle, das zweite etwas ausgedehntere westlich vom Hohen Zaun (= Ober-Zaim) im Lobenauer Walde — namentlich in dem dortigen schluchtartigen Graben — und das dritte in dem sich daran westwärts anschließenden Streifen von Wald- und Wiesengehänge. Es waren teils reinere, teils braune sandige und auch bis haselnußgroße Quarzgeröllchen einschließende Nummulitenkalkstücke, welche an den bezeichneten Stellen aus dem sich auf dem Dolomit ausbreitenden humösen Boden zutage kamen. Während v. Mojsisovics — abweichend von uns — eine eigentliche Abrollung dieser Brocken leugnet und dieselben vielmehr für die Loswitterungen von geringmächtigen, im Waldboden versteckt anstehenden Bänken hält, möchte er die von Gümbel in der Lobenauer Ziegelei entdeckten Eozängesteine bloß als zufällig von der sich dahinter erhebenden Dolomithöhe herabgerutschte, lose Rollstücke betrachten.

Die hier gegen den Triasdolomit einfallenden und auch Lignitschmitzchen enthaltenden Tone (Letten), die v. Mojssiovics 1897 wegen einer geringen Gipsführung irrtümlich als Werfener Niveau, später (1900)[5] aber richtig als tertiäre Bildung auffaßte, sei von dem Komplexe der Nummulitenschichten wohl zu unterscheiden.

Ähnlich äußerte sich 1900 F. Frech:[6] »Eine stratigraphische Beziehung der Braunkohlenformation des Ennstales zu den auf der Höhe des Diploporendolomites übrig gebliebenen Nummulitenreliefen besteht nicht. Beide Tertiärablagerungen sind der Bildungsart und dem Bildungsraum nach gänzlich verschieden und gehören zwei verschiedenen Transgressionen an.«[7]

---

1 W. v. Gümbel, Geologische Bemerkungen über die warmen Quellen von Gastein und ihre Umgebung, p. 383.

2 Es erscheint rätselhaft, wie v. Gümbel (l. c.) diese räumlich ziemlich beschränkte und unzweifelhaft zur Mandlingtrias gehörige Breccienbildung bei ihrer typischen Kalknatur folgendermaßen beschreiben konnte: »Diese auf weite Strecken hin bloß aus meist scharfkantigen, weißen, selten rötlichen Quarztrümmern mit quarzsandigem Bindemittel bestehende, mächtige Breccienbildung, unmittelbar an und auf Kalk oder phyllitischen Tonschiefer aufgesetzt, ist eine aus der jetzigen Oberflächengestaltung nicht zu erklärende Erscheinung.«

3 F. Frech, Über den Gebirgsbau der Radstädter Tauern (1897), p. 1255.

4 M. Vacek, Einige Bemerkungen über den Gebirgsbau der Radstädter Tauern (1897), p. 55.

5 E. v. Mojsisovics, Geologische Revisionstouren im obersten Ennsgebiete. Verhandl. d. k. k. geol. Reichsanstalt, 1900, p. 9.

6 F. Frech, Zur Geologie der Radstädter Tauern, p. 11.

7 Dieser Satz ist im allgemeinen berechtigt, wenn man die Eozängesteine als solche, nicht aber ihr geröllartiges Vorkommen auf sekundärer Lagerstätte im Auge hat, das wohl der gleichen Ablagerungsphase (Miozän) angehört wie die

Im folgenden Jahre hat F. Frech eine kurze zusammenfassende Beschreibung des Radstädter Eozänvorkommens veröffentlicht,[1] dessen petrographische Beschaffenheit eine äußerst mannigfaltige sei: Man könne rötliche oder braune dichte Kalke, wie sie in der Trias niemals beobachtet werden, graugrünliche Mergel ohne Versteinerungen, graue Kalke mit seltenen Nummuliten und Kalke, die entweder nur aus abgerollten Nummuliten oder aus Nummuliten und Glimmerblättchen oder aus Nummuliten und Quarzgeröllchen bestehen, unterscheiden. Wenn die Eozängerölle überhandnehmen, so entwickle sich ein echtes, rötlich gefärbtes Konglomerat, das auch bei Ober-Zaim und oberhalb Lobenau, hier mit braunem, etwas sandigem Kalke, vorkomme.[2] Die genannten, höchst bezeichnenden Gesteine, die bei Radstadt nur infolge ihres geschützten Auftretens in einem Längstale erhalten geblieben seien, hat Frech niemals in Moränen oder Glazialschottern wiederfinden können.

Die 1905 von Mojsisovics ausgesprochene Behauptung,[3] daß der bei Radstadt vorkommende Nummulitenkalk an der Basis der braunkohlenführenden Tertiärbildung des oberen Ennstales erscheine und in ein zu ihr gehöriges Konglomerat übergehe, entspricht nicht den Beobachtungstatsachen.

Auf Grund unserer in der Umgebung von Radstadt angestellten Studien haben wir 1908 das Auftreten der Nummulitengesteine als Gerölle auf sekundärer Lagerstätte nachdrücklich hervorgehoben, welche aus einigen wohl am Nordgehänge der Mandlingtrias liegenden Konglomeratlappen bestünde. Letztere könnten dasselbe geologische Alter wie die durch Lignit ausgezeichneten Tertiärablagerungen von Wagrein und des oberen Ennstales und die Letten bei der Kerschbaumermühle (Lobenauer Ziegelei) besitzen oder etwas älter sein als diese.[4]

Daß das Radstädter Eozänvorkommen, welches von den den Nordrand der Alpen begleitenden Eozänschichten zirka 55 bis 60 *km*, von denen des Gurktales (Guttaring) fast 100 *km* entfernt sei, auf ostalpiner (Mandling-) und nicht auf lepontinischer (Radstädter Tauern-) Trias erscheine, ist 1909 von E. Suess,[5] seine geographische Nähe (bis zu zirka 3 *km*) zu den permisch-mesozoischen Gesteinen dieses an den Semmeringtypus erinnernden Tauerndeckensystems 1910 von H. Mohr[6] hervorgehoben worden, welcher »die Unmöglichkeit, Reste anstehenden Eozäns in der benachbarten Region zu entdecken«, trotz Trauth's Beobachtungen für »vielleicht doch noch nicht völlig erwiesen« hält.

Im vorigen Jahre haben wir[7] der Wahrscheinlichkeit Ausdruck verliehen, daß die bisher nur als Gerölle — wohl eines der Mandlingkette aufruhenden Tertiärschotters — bekannten Radstädter Nummulitengesteine auch primär unweit von ihrer jetzigen Lagerstätte im Bereiche der Mandlingserie abgelagert worden wären, in welchem Falle sie als deren jüngstes Schichtglied zu betrachten seien, und daß die einstige Verbindung dieses dem Lutétien angehörigen Eozänvorkommens mit den in der Nähe des bayrisch-salzburgischen Kalkalpenrandes befindlichen Alttertiärablagerungen (Kressenberg, Reichenhall, Mattsee etc.) in der Richtung über Abtenau erfolgt sein könnte.

Lignit führenden Schichten von Wagrein und des oberen Ennstales. Auf diese limnisch-fluviatile Bildung den Ausdruck »Transgression« anzuwenden, wie es F. Frech getan, ist aber natürlich unstatthaft.

1 F. Frech, Geologie der Radstädter Tauern (1901), p. 17 und 65.

2 Diese Bemerkung geht offenbar auf eine Angabe von Mojsisovics (Über das Auftreten von Nummulitenschichten bei Radstadt im Pongau, p. 216) zurück, welcher oberhalb der Lobenau an dem von der Taurach zur Kranabetkapelle führenden Wege »steil aufgerichtete Konglomerat- und Sandsteinbänke aus Urgebirgsgeröllen« erwähnte, in deren unmittelbarer Nachbarschaft Brocken von braunem und etwas sandigem nummulitenführenden Kalk aus dem Waldboden hervorkamen. Vgl. dazu auch p. 9, 10 [179, 180] dieser Abhandlung.

3 E. v. Mojsisovics, Erläuterungen zur geologischen Karte etc., SW-Gruppe, Nr. 19, Ischl und Hallstatt, p. 52.

4 F. Trauth in V. Uhlig, Zweiter Bericht über geotektonische Untersuchungen in den Radstädter Tauern, p. 41.

5 E. Suess, Das Antlitz der Erde, Bd. III/2, p. 180 und 185.

6 H. Mohr, Zur Tektonik und Stratigraphie der Grauwackenzone zwischen Schneeberg und Wechsel (Niederösterreich), p. 203.

7 F. Trauth, Vorläufige Mitteilung über den geologischen Bau der Südseite der Salzburger Kalkalpen (1916), p. 2, und Derselbe, Die geologischen Verhältnisse an der Südseite der Salzburger Kalkalpen (1916), p. 78.

Die in verschiedenen Veröffentlichungen F. Heritsch's[1] enthaltenen Angaben über das Eozän von Radstadt gehen hauptsächlich auf unsere Mitteilungen zurück.

Welche Rolle schließlich E. Haug und L. Kober dieser interessanten Ablagerung in tektonischer und paläogeographischer Beziehung vom Standpunkte der Deckenlehre aus zugewiesen haben, möge später angeführt werden.[2]

Verbreitung und Lagerung.

(Vgl. das nachstehende Kärtchen Fig. 1 und das Profil Fig. 2, p. 7 [177].)

Bevor wir uns der genaueren Beschreibung der Vorkommnisse von Eozängeröllen bei Radstadt zuwenden, scheint es nicht unangebracht, die Mandlingkette daselbst, in deren Bereich ja jene liegen, einer kurzen Betrachtung zu unterwerfen.

Mit steilem (zirka 60° und mehr), nordwärts gerichtetem Fallen ruht die Serie der Mandlingtrias auf den grauen bis graugrünen und stellenweise ziemlich quarzhältigen Pinzgauer Phylliten auf, welche

Fig. 1.

Alluvium (Talschutt) — Dachsteinkalk — Werfener-Schichten
Diluvium — Ramsaudolomit — Paläozoischer Kalk
Tertiär — Muschelkalk-Dolomit — Pinzgauer-Phyllit

Geologisches Kärtchen der Mandlingkette östlich von Radstadt, aufgenommen von F. Trauth.

— zusammen mit Serizitquarziten — das Nordgehänge des südöstlich von Radstadt gelegenen Vorder-Foga-(= Fager-)Berges bilden, und aus denen etwas südlich vom Biberbach und östlich vom Kaspar-

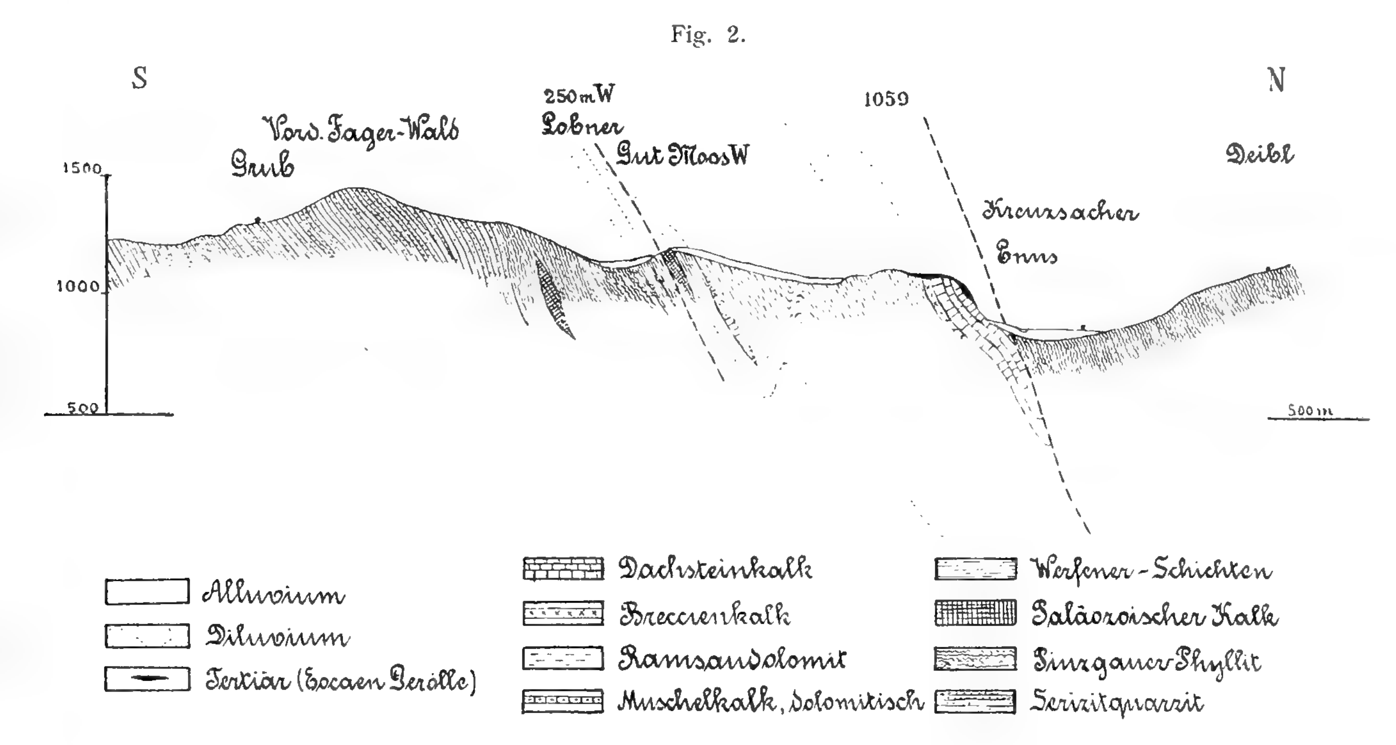
[1] Vgl. die Zitate in unserer Literaturzusammenstellung, p. 39 [209].

[2] Vgl. diese Abhandlung, p. 36—37 [206-207].

bauern in Form einer kleinen hellen Felsmasse eine von F. Frech[1] fälschlich als Triasdolomit, von M. Vacek[2] richtig als krystalliner Marmor bezeichnete weißliche Einlagerung wandartig aufragt.

Als basale Werfener Schichten der Mandlingtrias betrachten wir einen relativ schmalen Zug von schwarzgrauen bis graugrünen und rötlichen kieselig-sandigen Gesteinen, die zum Teil in dunkle

Fig. 2.



Geologischer Querschnitt durch die Mandlingkette östlich von Radstadt.

glimmerige Schiefer übergehen und sich an der Nordseite des Biberbachgrabens vom Taurachtal gegen das Gehöfte Lobner hinziehen, um dort unter einer oberflächlichen Diluvial-(Moränen-)Decke zu verschwinden, dann aber wieder ein wenig nördlich vom Hackl-Bauern zum Vorscheine zu kommen.

Auf diese »kieseligen Werfener Schichten« folgt dann gegen Norden zunächst ein allerdings nur stellenweise — so südöstlich von der Kranabetkapelle und nordwestlich vom Hackl — entwickeltes sehr schmales Band von dunkelgrauem, zum Teil etwas kalkigem Dolomit, welcher gewissermaßen die tiefste Partie des lichten Mandlingdolomites darstellt und wohl ein Muschelkalk-Niveau (Gutensteiner Schichten) repräsentiert, und weiterhin der eben erwähnte hellgraue bis weißliche, brecciöse Dolomit (Ramsau-, vielleicht zum Teil auch Dachstein-, beziehungsweise Hauptdolomit) als Hauptbestandteil der Mandlingserie, über dem sich schließlich gegen das Ennstal hin der rotdurchäderte knollige Dachsteinkalk der Zaimberge (Lobenauer Steinbruch, Nordwände des Ober- und Unter-Zaims) einstellt.[3]

Infolge einer untergeordneten, den Basaltteil der Mandlingkette durchziehenden Schuppenbildung erscheinen innerhalb der erwähnten Zone kieseliger Werfener Schichten nördlich vom Biber-Bach einige geringfügige Felschen von dunkelgrauem, weißlich durchäderten Kalkstein (Gutensteiner Kalk) aneinandergereiht, in deren Fortsetzung sich ein wenig westlich vom Lobner eine längliche Partie helleren Mandlingdolomites einstellt. Eine an deren Ostende sichtbare kleine Felsmasse von fleisch- bis rosarotem und auch etwas grauem, dünnbankigem Kalk dürfte wohl ähnlich wie der Kalkstein an der Nordwestflanke des Vorder-Foga-Berges paläozoischen Alters und als Unterlage der zur höheren Schuppe gehörigen kieseligen Werfener Schichten aufzufassen sein, so daß zwischen ihr und dem anstoßenden Dolomit die Wechselfläche durchziehen würde.

---

[1] F. Frech, Geologie der Radstädter Tauern, p. 22.

[2] M. Vacek, Über den neuesten Stand der geologischen Kenntnisse in den Radstädter Tauern. Verh. d. k. k. geol. Reichs.-A. 1901, p. 388.

[3] Vgl. über diese Triasfolge F. Trauth in V. Uhlig, Zweiter Bericht über geotektonische Untersuchungen in den Radstädter Tauern, p. 39 bis 41.

Offenbar infolge einer vielleicht auch schuppenartig-synklinalen Einfaltung erscheint inmitten des typischen Mandlingdolomites etwas nördlich von der Hackl-Hütte eine schmale, langgestreckte Zone von hellem Dachsteinkalk, der dann weiter im Norden die gegen das Ennstal hin abstürzenden Felswände der Zaim-Berge zusammensetzt.[1]

Hier ist er als hellgraues und weißliches Kalkgestein entwickelt, welches gewöhnlich einen gewissen Tongehalt in Form eines es durchziehenden, feinen, rötlichen Geäders aufweist und infolgedessen auf den etwas knollig werdenden Anwitterungsflächen oft eine auffällig rote Färbung annimmt, wie man sie besonders schön schon vom Ennstale aus an den Nordabstürzen der Zaim-Berge wahrnehmen kann. Von Fossilien haben wir in diesem mitunter auch Evinospongien enthaltenden Dachsteinkalk am Ober-Zaim Durschnitte von Megalodonten und in dem schluchtartigen nördlich von Gut-Moos und westlich vom Ober-Zaim gelegenen Graben bei der von Mojsisovics entdeckten Fundstelle von Eozängesteinen Durchschnitte von Korallen (*Montlivaltia* cf. *norica* Frch.?, *Thecosmilia* sp.), Bivalven (*Megalodon* sp. u. a.) und Gastropoden (*Chemnitzia* sp. u. a.) aufgefunden.

An der Grenze des auch stellenweise intensiv rotgrau bis rot werdenden, bröckelig-zerruschelten Mandlingdolomites gegen den ihn überlagernden Dachsteinkalk stellt sich der schon früher erwähnte von Gümbel irrtümlich mit einer Quarzbreccie verwechselte geringmächtige Breccienkalk ein, welcher aus kleinen unregelmäßig-eckigen Kalkbrocken von weißlicher oder hellgrauer Färbung besteht, die in einer etwas tonigen und bei der Verwitterung lebhaft rotbraun werdenden Kalkmasse eingebettet sind. Man kann dieses scheckige und wohl eine Sedimentär-(Primär-)breccie darstellende Gestein von dem bei der Lobenauer Ziegelei befindlichen Steinbruch, wo es namentlich zum Kalkbrennen abgebaut wird und eine wichtigere Rolle spielt als der hier bereits größtenteils denudierte Dachsteinkalk, ostwärts bis zum Ober-Zaim klar verfolgen. Deutlich ist es auch in dem durch das Vorkommen der Eozängerölle ausgezeichneten schluchtartigen Graben nordnordwestlich von Gut-Moos aufgeschlossen.

Die von den Ennsalluvien verdeckte Grenze der steil nordwärts verflächenden, triadischen Mandlingkette gegen die das nördliche Gehänge des Ennstales zusammensetzenden Grauwackenschiefer (Pinzgauer Phyllite) des Roßbrandrückens stellt nach unserer Überzeugung eine postgosauische oder vielleicht posteozäne Schuppenfläche dar, an welcher die Mandlingserie bis zu einer wohl nicht allzugroßen Tiefe hinabtaucht.[2]

Daß an derselben aber auch später noch Dislokationen von geringerer Bedeutung zur Auslösung gelangen konnten, beweist das flache (mit zirka 15°) südwärts gegen die Mandlingtrias gerichtete Einfallen der wahrscheinlich miozänen Süßwassertone in der Lobenauer Ziegelei, welches C. W. v. Gümbel und E. v. Mojsisovics zu der Vorstellung führte, daß dieselben den Triaszug unterteuften, bezüglich

---

[1] Diese Dachsteinkalke des Mandlingzuges sind zuerst von C. W. v. Gümbel beobachtet worden, welcher in seinen »Geologischen Bemerkungen über die warmen Quellen von Gastein und ihre Umgebung«, p. 383 sagt: »Am Zaumberge auf dem Sattel zwischen Radstadt und Forstau« (= Heiml-Scharte) »sind es dachsteinkalkartige unregelmäßig aufgehäufte Felsklötze mit Spuren von Versteinerungen wie in den Kalkalpen«.

[2] Im Gegensatz zu É. Haug und L. Kober, die den Mandlingzug für die südlich unter den höheren ostalpinen Decken wieder zutagetretende bayrisch-niederösterreichische Trias halten, ist er uns als Schuppe eine schiefe Mulde mit fehlendem Hangendschenkel, deren Anschluß an die Triasschichten des weiter nördlich gelegenen Werfen-St. Martiner Schuppenlandes über die Pinzgauer Phyllitte des Roßbrandrückens hinweg gesucht werden muß. Vgl. F. Trauth, Die geologischen Verhältnisse an der Südseite der Salzburger Kalkalpen, p. 78. Mögen wir auch mit E. v. Mojsisovics (Geologische Revisionstouren im obersten Ennsgebiete. Verh. d. k. k. geol. Reichs-A., 1900, p. 8) die besagte Nordgrenze der Mandlingtrias als die hervorstechendste tektonische Eigentümlichkeit des obersten Ennstales bezeichnen, so kommt ihr doch keinesfalls der ihr von dem genannten Forscher zuerkannte Charakter eines gewöhnlichen Bruches (»Ramsaubruches« v. Mojsisovics) zu. Die von F. Frech (Geologie der Radstädter Tauern, p. 28 bis 29) vertretene Ansicht, daß die Mandlingkette außerdem im Süden von einer Verwerfung begrenzt sei und so einen »Grabenbruch« darstelle, ist durch den von uns erbrachten Nachweis von Werfener und Gutensteiner Schichten an ihrer Südgrenze selbstverständlich hinfällig geworden.

von ihm überschoben seien.[1] Sicherlich handelt es sich dabei aber nur um eine ziemlich untergeordnete sekundäre Absenkung dieser der Mandlingkette ursprünglich angelagerten Tertiärbildung[2] gegen die letztere, eine Bewegung, wie sie völlig analog auch die Neigung des Wagreiner Tertiärzuges gegen die im Süden an ihn stoßenden Pinzgauer Phyllite hervorgerufen hat.

Wenn auch in den schwarzgrauen, graugrünen und roten Letten der Lobenauer Ziegelei bisher keine Fossilspuren aufgefunden worden sind, so berechtigt uns doch ihre dem lignitführenden Wagreiner Tertiärzug entsprechende Lagerung, ihr Auftreten in der gleichen Tiefenfurche (Wagreiner Sattel – Oberes Ennstal) wie letzterer und die braunkohlenhältigen Tertiärschichten bei Gröbming (Tipschern etc.) und Steinach und endlich das Vorkommen wenn auch ganz geringfügiger Pechkohlestückchen und -schmitzchen darin, ihnen dasselbe geologische Alter zuzuschreiben. Nach Pflanzenresten, die seinerzeit im Wagreiner Tertiär und bei Steinach aufgesammelt und von C. v. Ettingshausen als *Quercus Drymeja* Ung., *Betula prisca* Ett., *Daphnogene* (= *Cinnamomum*) *polymorpha* Ett. und *Glyptostrobus oeningensis* A. Braun bestimmt worden sind, handelt es sich um miozäne Bildungen von limnisch-fluviatiler Natur[3], welche man mit größter Wahrscheinlichkeit den lignitführenden Ablagerungen von Fohnsdorf und Leoben an der Mur, Göriach bei Turnau und Parschlug im Mürzgebiet, von Pitten am Steinfeld und Brennberg bei Ödenburg (»Stufe der Lignite von Pitten«, etwa der Zeit zwischen der I. und II. Mediterranstufe entsprechend) wird gleichstellen können.[4]

Wenn wir uns nun den einzelnen Fundstellen der Radstädter Eozängesteine zuwenden, so wäre als erste

1. die eben beschriebene Lobenauer Ziegelgrube[5] zu nennen, in der, wie bereits früher erwähnt, C. W. v. Gümbel 1889 zuerst derartige Stücke entdeckt hat. Obwohl nun nach ihm weder E. v. Mojsisovics, F. Frech und M. Vacek noch wir selber hier Brocken des Nummulitenkalkes zu bemerken vermochten und daher die von Mojsisovics geäußerte Meinung vieles für sich hat' daß Gümbel's Funde nur lose Rollstücke gewesen seien, die von der benachbarten Triaskette zufällig in die Lettengrube hinabgerutscht wären, halten wir es gleichwohl für möglich, daß vielleicht doch einmal unter den im Tegel — besonders in seiner obersten roten Lage — vorkommenden, vielfach der Mandlingtrias entstammenden Geröllen auch ein aus Nummulitenkalk bestehendes angetroffen werden könnte. Ein solcher Fund wäre natürlich eine wertvolle Bestätigung unserer Annahme, daß die sekundäre Lagerstätte der Eozängesteine, welche wohl in einigen auf der Mandlingkette liegenden Konglomeratlappen besteht, der Tertiärablagerung in der Lobenauer Ziegelei etwa äquivalent sei.

2. Ein zweites Vorkommen ist von E. v. Mojsisovics festgestellt und folgendermaßen beschrieben worden (1897, l. c., p. 216): »Ein dürftiger, nur bei genauer Beobachtung wahrnehmbarer Aufschluß der Nummulitenschichten liegt rechts am Wege, welcher von Taurach zur Kranabitkapelle oder über die Lobenau nach Forstau führt. Wenn man die Poststraße verlassen und die in der Höhe befindlichen Häuser passiert hat, bei welchen Triasdolomit ansteht, gelangt man zu steil aufgerichteten Konglomerat- und Sandsteinbänken aus Urgebirgsgeröllen. In der unmittelbaren Nachbarschaft der Sandsteinbänke streichen aus dem Waldboden Brocken des nummulitenführenden Gesteins hervor. Es ist dies ein brauner, etwas sandiger Kalk, dessen nahe chronologische Beziehung zu den vorher

[1] Vgl. C. W. v. Gümbel, Über einen Nummulitenfund bei Radstadt, p. 231, und E. v. Mojsisovics, Geologische Revisionstouren etc., p. 9.

[2] Diese ursprüngliche Anlagerung ist bereits von F. Frech (Geologie der Radstädter Tauern, p. 17 bis 18) aus dem reichlichen Auftreten von Mandlingdolomit-Geröllen in einer Lage des Tones erschlossen worden.

[3] Vgl. F. Frech, Geologie der Radstädter Tauern, p. 17 bis 18, und G. Geyer, Über den geologischen Bau der Warscheneckgruppe im Toten Gebirge. Verh. d. k. k. geol. Reichs-A., 1913, p. 307 bis 308.

[4] Vgl. C. Diener, Bau und Bild der Ostalpen und des Karstgebietes, p. 471 bis 472, und R. Hoernes, Bau und Bild der Ebenen Österreichs, p. 949 bis 950.

[5] Auf unserem Kärtchen der schwarze Fleck unmittelbar südöstlich von der Kerschbaummühle.

erwähnten Sandsteinen und Konglomeraten daraus hervorgeht, daß nicht selten Quarzgerölle bis zur Haselnußgröße in demselben neben den Nummuliten eingebettet sind. Es steht alsbald längs des Weges wieder Triasdolomit an, während die tertiären Schichten sich wahrscheinlich als Unterlage des Wald- und Wiesenbodens oberhalb des Weges noch ausbreiten dürften. Lose Brocken des Nummulitenkalkes finden sich am Dolomitgehänge gegen den Steinbruch und gegen die oben erwähnte Ziegelei.«

Nach unseren über das Auftreten der Radstädter Eozängesteine gewonnenen Erfahrungen möchten wir auch bei diesem zwischen der Taurach bei Löbenau und der Kranabetkapelle gelegenen Vorkommen, welches wir leider nicht wiederfinden und daher bloß ungefähr auf Grund der obigen Literaturangabe in unser Kärtchen eintragen konnten, nicht an auswitternde Brocken eines dort im Waldboden anstehenden Nummulitengesteines, sondern nur an derartige Gerölle denken. Was ferner die von E. v. Mojsisovics beobachteten »steil aufgerichteten Konglomerat- und Sandsteinbänke« betrifft, wollen wir es dahin gestellt sein lassen, ob sie einen miozänen Konglomeratlappen mit Eozängeröllen darstellen oder, wie fast wahrscheinlicher, da Mojsisovics letztere nicht daraus anführt, eine etwa infolge einer Rutschung dislozierte Diluvialbildung.

3. Einige Gerölle von Eozängesteinen fanden wir zirka 250 *m* östlich von der Lobenauer Ziegelei, also fast südlich von der (an der Radstadt—Mandlinger Straße gelegenen) Häusergruppe Eggl-Dörfl. Sie lagen ziemlich tief unten am Gehänge der Mandlingkette, ungefähr an der Grenze zwischen Dachsteinkalk und Mandlingdolomit und demnach hauptsächlich im Bereiche des rot-weißscheckigen Breccienkalkes.

4. Von diesem Punkte aus beiläufig 1 *km* flußabwärts gehend, gelangen wir zu einem besonders reichlichen Vorkommen von Eozängeröllen, die hier auch von solchen aus Quarz, kieseligem Gestein, triadischem und krystallinem Kalk u. a. begleitet werden.

Der Fundplatz liegt an und zwischen einigen sehr kleinen Wasserrissen, welche hier etwa südsüdöstlich von Doppellehen (Gehöfte an der Straße Radstadt—Mandling) in das tiefere Gehänge der Mandlingtrias eingeritzt sind, in geringer Höhe über den Ennstalalluvien nahe der Grenze des Dachsteinkalkes und (darüber aufgeschlossenen) Dolomites, teils auf diesem, teils auf jenem.[1] Die beim Durchschürfen der darüber gebreiteten Bodendecke in bemerkenswerter Menge zum Vorscheine kommenden Rollsteine erwecken entschieden den Eindruck, daß sie an Ort und Stelle liegengebliebene, höchstens wenig umgelagerte Auswitterungsprodukte einer Konglomeratbildung darstellen, von denen, wenn überhaupt, wohl gerade an dieser Örtlichkeit noch anstehende Spuren einmal im Waldboden entdeckt werden könnten.

5. In einem mit Baumwuchs bestandenen Gehängestreifen, welcher sich in der Gegend südlich vom Kreuzsacher (Bauernhof auf der bezeichneten Reichsstraße) zwischen den tieferen und höheren Dachsteinkalkwänden des Nordabsturzes der Mandlingkette hinzieht, und den wir vom Tale aus über einen Holzschlag erreichen konnten, der uns das Übersteigen des unteren Felsenhindernisses erleichterte, sammelten wir mehrere sandige Nummulitenkalkgerölle auf. Es ist nicht sicher, ob dieselben aus einem hier früher vorhanden gewesenen Konglomeratlappen stammen oder von der sich darüber erhebenden Kammhöhe herabgerollt sind, woselbst wir gleich — in einem Bachgraben — die letzte Fundstelle der Eozängesteine kennen lernen werden.

6. Es ist dies das zuerst von E. v. Mojsisovics bemerkte und später auch von F. Frech[2] besuchte Vorkommen im Lobenauer Walde, oben — in etwa 1000 *m* absoluter Höhe — auf der

[1] Man erreicht den Platz, an dem die erwähnten kleinen Wasserrinnen zu sehen sind, am leichtesten, wenn man auf der unmittelbar südlich von Doppellehen befindlichen Brücke die Enns überschreitet und dann an deren rechtem Ufer, ein paar Zäune passierend, zirka 500 bis 600 Schritte talab wandert. Zur Zeit unseres Besuches vor fast zehn Jahren lag der ergiebigste Fundpunkt nur wenige Meter über dem Talboden knapp an der Westseite eines den Berg hinanziehenden schmalen Walddurchschlages.

[2] Vgl. F. Frech, Geologie der Radstädter Tauern, p. 17, Fußnote 3.

Mandlingkette, westlich vom Ober-Zaim. Zirka 700 *m* nordnordwestlich vom Gehöfte Gut-Moos entfernt, nähert sich hier eine deutliche, im Auwald an der Südseite des Ober-Zaim beginnende Talfurche dem Nordabsturz der Mandlingtrias, über welchen sie hier in niederschlagsreicher Jahreszeit einen Wasserlauf als kaskadenbildendes Bächlein dem Ennstale zusendet.[1]

Kurz bevor man nun, von Süden kommend, die Oberkante des erwähnten Steilhanges erreicht, sieht man in dem hier fast schluchtartig erscheinenden Graben ungefähr an der durch den rotweißscheckigen Breccienkalk markierten Grenze zwischen dem Mandlingdolomit und hellem, knollig verwitternden Dachstein-(Zaim-)kalk auf diesen steil nordwärts verflächenden Triasbänken die nummulitenreichen Eozängerölle herumliegen. Die meisten derselben treten, von Rollstücken aus Quarz und anderen Gesteinen begleitet, im Bereiche des Dachsteinkalkes auf, dessen losgelöste, Fossildurchschnitte (*Chemnitzia* sp., *Megalodon* sp., Korallen etc.) zeigende Blöcke sich den Tertiärgeröllen beimengen. Eine Verwechslung beider ist aber bei genauerer Betrachtung schon deshalb ausgeschlossen, da erstere keine Abrollung und nie eine Spur von Sandgehalt erkennen lassen.

Am einfachsten mögen die hier vorkommenden Eozängerölle als Überbleibsel eines heute der Abtragung bereits zum Opfer gefallenen Konglomeratlappens erklärt werden, welcher an dieser Stelle oder doch in ihrer nächsten Nähe einmal die Mandlingtrias bedeckt hat.

Falls diese vermutlich einst weiter über die Mandlingserie ausgebreitete Konglomeratbildung, welche wir uns als sekundäre Lagerstätte der Eozängerölle zu denken haben, mit den Tonen der Lobenauer Ziegelei (Miozän, etwa Niveau der Lignite von Pitten)[2] gleichalterig wäre, so müßte wohl mit der Möglichkeit von Funden derartiger Rollsteine auch innerhalb der Lettenablagerung zu rechnen sein. Sollte hingegen jenen Konglomeraten ein etwas höheres geologisches Alter zukommen (vielleicht Oligozän)[2], so könnten natürlich solche Gesteine nur im Liegenden der Tone, also in einer gewissen Tiefe unterhalb der Lobenauer Ziegelgrube erwartet werden.

Da wir in einigen konglomeratisch-sandig entwickelten Eozängeröllen — so in den zu den Schliffen Nr. 13 und 20 gehörigen — neben den Quarzeinschlüssen auch solche von hellem, typischen Mandlingdolomit und etwas Zaim-(Dachstein-)Kalk wahrnehmen konnten, müssen die Nummulitenschichten sicherlich vor ihrer Umlagerung im Bereiche oder doch in nächster Nähe der Mandlingtrias abgelagert worden sein, und zwar gewiß auch in keiner großen Entfernung von ihrer wahrscheinlich miozänen sekundären Lagerstätte, da sich sonst die nicht selten bis zu doppelter Faust-, ja in vereinzelten Fällen sogar bis über Kopfgröße reichenden Dimensionen ihrer Gerölle schwerlich erklären ließen. Die Mehrzahl der letzteren bleibt allerdings kleiner und hält sich etwa zwischen dem Umfange eines Eies und einer kleinen Faust.

Wenn die Oberfläche der aus reinerem Kalk bestehenden Rollstücke ziemlich glatt und wohlgerundet, der durch Quarzkörnchen und -geröllchen sandig oder konglomeratisch verunreinigten aber nur unvollkommen rundgescheuert und rauh ist, so hängt dies jedenfalls auch mit ihrer nachträglichen Verwitterung zusammen, welche ja die widerstandsfähigen Quarzkomponenten aus der weicheren Matrix von Nummulitenkalk deutlich herausarbeiten mußte (vgl. Textfig. 3, p. 12 [182]).

Gesteinsbeschaffenheit und Fossilführung.

(Vgl. die Tabelle p. 16 bis 17 [186 bis 187].)

Die von F. Frech festgestellte petrographische Mannigfaltigkeit der Radstädter Eozängesteine finden wir in den von uns beobachteten Geröllen vollauf bestätigt.

1. Nicht selten erscheinen darunter solche aus Nummulitenkalk, welcher von vielen Sandkörnlein und erbsen- bis nußgroßen glatten Geröllchen aus weißlichem, hell-, dunkel-, gelblich- oder

---

1 Einem im Ennstale stehenden Beobachter stellt sich dieser Graben als auffälliger, südsüdöstlich vom Gehöfte Brunn (an der Straße Radstadt—Mandling) gelegener Einschnitt in die Kammlinie des Mandlingzuges dar.

2. Vgl. F. Heritsch, Handbuch der regionalen Geologie (1915), p. 54 und 110.

rötlichgrauem Quarz und mitunter auch von bräunlichen und grünlichen Glimmerschüppchen verunreinigt ist[1] und daher ein sandig-konglomeratisches Aussehen zur Schau trägt. Auch Bröckchen von hellem Dolomit (Mandlingdolomit) und Kalk (Zaim-Dachsteinkalk) und dunklerem Phyllit schließt er zuweilen ein. An der Oberfläche der kalkigen Gesteinsmasse (Matrix), welche weißlich-, gelblich- und bräunlichgrau oder rötlichgelb gefärbt ist, wittern oft die linsenförmigen Schalen größerer Nummuliten (mit einem Durchmesser bis zu 2 *cm*) und Molluskenfragmente aus. Auch Echinodermenzerreibsel sind stellenweise zu bemerken.

Diese Gesteinsausbildung zeigen u. a. die zu unseren Dünnschliffen Nr. 13, 20, 22, 27 und 29 gehörigen Gerölle.

2. Recht häufig sind weißliche bis hellgelblichgraue, mehr oder weniger sandhältige Kalksteine (Sandkalke), an deren rauh anzufühlender, nur selten gelblichbraun werdender Verwitte-

Fig. 3.



a



b

Eozängerölle von Radstadt im Pongau.

a. Aus sandig-konglomeratischem Nummulitenkalk.[2] *b.* Aus etwas sandigem, dunkelgrauem Gastropodenkalk.[3]

Zirka 4/5 der nat. Größe.

rungsoberfläche häufig kleine Assilinen-Schälchen (*Assilina exponens* Sow.), daneben aber auch mitunter linsenförmige Nummulinen, spätige Echinodermenfragmente und Molluskenreste sichtbar werden.

Diesem Typus folgen die Rollstücke, aus welchen die Schliffe Nr. 5, (8 bis 10), 18, 21, (25, 33) und 26 hergestellt sind.

3. Am häufigsten erscheinen gelblich-, bräunlich- oder rötlichgraue ziemlich sandige Kalksteine (Sandkalke), welche beim Befeuchten durch den Geruch einen gewissen Tongehalt verraten. Sie pflegen mit gelbbrauner Oberfläche zu verwittern und zeigen dann hier viele kleine Schälchen von Assilinen (*Assilina exponens* Sow.) wie auch von Nummulinen, ferner Echinodermen- und Molluskenbruchstücke. Mitunter vorhandene Alveolinen und Beimengungen von Biotit- und Chloritschüppchen und dunklen (kohligen?) Partikelchen beobachtet man mit freiem Auge erst bei sehr genauer Betrachtung.

[1] Unter dem Mikroskop bemerkt man in den Eozängesteinen zuweilen auch winzige Körnchen von Apatit, Zirkon, Rutil, Turmalin u. a., die aus den krystallinen Schiefern der Umgebung stammen.

[2] Davon Schliff Nr. 20 hergestellt.

[3] Davon Schliff Nr. 19 und 30 hergestellt.

Diese petrographische Ausbildung tritt uns an den zu den Schliffen Nr. (6, 7), 11, 12, (14, 15) und 23 gehörigen Geröllen entgegen.

4. An sie schließt sich ein graubraunes, sandiges Kalkgerölle (Schliffe Nr. 24, 31, 32) an, das jedoch wegen der zahlreichen, an seiner weißlichgelben, rauhen Verwitterungsoberfläche hervortretenden und von einigen Gastropodenresten begleiteten Schälchen eines zierlichen Dentalium (*Dentalium* cf. *nitidum* Desh.) besondere Erwähnung verdient.

5. Durch eine auffällige Beimengung zahlreicher Glimmerschüppchen — vorwaltend silberglänzender Muskovitblättchen mit einem Durchmesser bis zu zirka 5 *mm* — und auch bräunlichgelber und grauer Quarzkörnlein ist ein graugelbes Kalkgerölle (Schliff Nr. 28) charakterisiert, dessen rauhe, hellgelbe Verwitterungsoberfläche viele kleine Assilinen und linsenförmige Nummulinen und auch Bivalvenreste und Lithothamnienflocken zeigt.

6. Eines der vorliegenden Rollstücke (zu den Schliffen Nr. 19 und 30 gehörig) besteht aus einem ziemlich dunkelgrauen, durch umkrystallisierten Calcit etwas spätig gewordenen Kalkstein, welcher durch feinen Quarzsand verunreinigt ist und auch, wie namentlich das Mikroskop erkennen läßt, viele zarte Schüppchen von Glimmer (Biotit und Chlorit) und feine schwarze (wohl kohlige) Partikelchen enthält. Seine hellbräunlichgraue Verwitterungsoberfläche ist dicht mit Querschnitten von größeren und kleineren Molluskenschalen, besonders Gastropoden, bedeckt.

7. Das fossilreichste unter allen genauer untersuchten Geröllen (Schliff Nr. 16, 17, 34, 35) wird von einem festen, relativ schwach sandig verunreinigten und rötlich und gelbgrau gesprenkelten Kalkstein gebildet, welcher im frischen Bruche ziemlich viele spätigglitzernde Echinodermenfragmentchen aufweist. An der rauhen Verwitterungsoberfläche erscheinen kleine linsenförmige Nummulinen und hie und da auch flache Orthophragminen, die aber samt den Lithothamnienfragmentchen erst im Schliffe zahlreich und deutlich hervortreten.

Durch seine feinscheckige, dem Strukturbilde eines kleinkörnigen Granites nicht unähnliche Zeichnung und die außerordentliche Menge der darin vorhandenen winzigen Organismenreste, die jeden Dünnschliff buchstäblich erfüllen, erinnert dieses Gestein überaus an den sogenannten »Granitmarmor« der südbayrischen Eozänablagerungen.[1] Daß der letztere hauptsächlich schmutzigweiß und schwarz, nicht aber rötlich gesprenkelt zu sein pflegt, ist fast der einzige Unterschied zwischen beiden.

8. Dem vorigen Gesteine steht zwar an Artenzahl, aber keineswegs an Individuenreichtum seiner Foraminiferen und sonstigen Organismenreste ein fester (dichter) und sehr reiner Kalk von gelblichweißer Färbung nach (Gerölle mit den Schliffen Nr. 1 bis 4), dessen Anwitterungsfläche von zahlreichen kleinen, linsenförmigen Nummulinen bedeckt ist. An einem durch das Rollstück gelegten polierten Anschliff erkennt man überdies viele hellweiße Flocken und schälchenumwachsende Krusten von Lithothamnien und besonders zahlreiche, verschiedenartige Orthophragminengehäuschen, deren auffällige Menge diesem Gesteine den Charakter eines Orthophragminen-Kalkes verleiht.

9. F. Frech hat außer Gesteinstypen, welche den von uns beobachteten und geschilderten gut entsprechen, auch noch »Kalke, die ausschließlich aus abgerollten Nummuliten bestehen, und

---

[1] K. E. Schafhäutl hat den in Oberbayern als Granitmarmor bezeichneten, etwas quarzig-tonigen Kalk, der an verschiedenen Stellen (namentlich bei Sinning unweit von Neubeuern am Inn) als Bau- und Kunststein gebrochen wird, folgendermaßen beschrieben (Südbayerns Lethaea geognostica. Der Kressenberg, p. 5): »Die Masse ist dicht, einer schönen Politur fähig, schmutzigweiß, schwarz gesprenkelt. Bei näherer Betrachtung bemerkt man, daß die ganze Gesteinsmasse aus einem Aggregate von beinahe mikroskopischen, rundlichen, oft wurmartigen oder zu größeren Flächen ausgebreiteten Bryozoen, Korallen und Amorphozoen« (= Foraminiferen) »besteht, von welchen die einzelnen Individuen bald weißlich, bald braun, bald schwarz erscheinen, wodurch unser Gestein das fleckige Aussehen von feinkörnigem Granit erhält. Nur sparsam sind hie und da kleine Nummuliten auftretend.«

10. »graugrünliche Mergel ohne Versteinerungen« aus dem Radstädter Eozän angeführt. Bei letzteren bleibt es aber wohl infolge des Fossilmangels einigermaßen fraglich, ob sie wirklich dieser Paläogenbildung angehören.

Was die Fossilführung der einzelnen hiemit in lithologischer Beziehung gekennzeichneten und von uns mikroskopisch untersuchten Eozängesteine betrifft, so ist dieselbe genauer aus der nachfolgenden Tabelle (p. 16 bis 17 [186 bis 187]) zu ersehen.

Wir haben im allgemeinen gefunden, daß die Mannigfaltigkeit und Menge der Organismenreste in den relativ reinsten Kalken, dem rötlich- und gelbgrau gesprenkelten (7) und dem weißlichen an Orthophragminen reichen Kalkstein (8) am größten ist, darauf folgen der graugelbe, sandige Glimmerkalk (5) und die sandig-konglomeratischen Nummulitenkalke (1) und zuletzt, natürlich nur im großen Ganzen, der dunkelgraue sandhältige Gastropodenkalk (6) und die hellgrauen (2) und bräunlichen (3, 4) Sandkalke.

Ein Gesamtbild der im Radstädter Eozön auftretenden Lebewelt, wie sie sich aus dem makro- und mikroskopischen Studium aller von uns aufgesammelten Gerölle ergeben hat, bietet gleichfalls die erwähnte Tabelle.

Selbstverständlich konnten nur die durch eine charakteristische Gestalt und Struktur ausgezeichneten, kleineren Organismen wie die Kalkalgen und Foraminiferen, einer näheren Bestimmung zugeführt werden, während eine solche auf Grund der dürftigen Auswitterungen oder Durchschnitte in den Dünnschliffen bei den übrigen Fossilien, den Korallen, Stachelhäutern, Würmern, Molluscoiden und Weichtieren nur in den seltensten Fällen möglich war.

Die Namen der als neu erkannten Formen lauten:

Furcoporella diplopora nov. gen. nov. spec. (Pia).
Rotalia nov. spec.
— nov. spec. aff. *Schroeteriana* Park. et Jon.
Pseudogypsina multiformis nov. gen. nov. spec.
Rupertia furcateseptata nov. spec.
Orthophragmina radstadtensis nov. spec.
— *discus* Rtm. var. nov. *minima*.

Die letztgenannte Spielart und *Rotalia* n. sp. aff. *Schroeteriana* Park. et Jon. haben wir auch im Eozän von Kirchberg am Wechsel und Wimpassing am Leithagebirge festgestellt, während die anderen neuen Arten nur in den Radstädter Dünnschliffen zur Beobachtung gelangt sind.

Von ihnen beanspruchen *Furcoporella diplopora* nov. spec. (Pia) und *Pseudogypsina multiformis* nov. spec. (Trth.) als Vertreter neu aufgestellter Gattungen besonderes Interesse.

Geologisches Alter.

Wird die alttertiäre Organismenwelt von Radstadt als solche auch durch das reichliche Vorkommen von Orthophragminen klar und deutlich charakterisiert, so könnte sich eine präzisere Altersbestimmung doch schwerlich auf dieselben stützen, da die meisten der hierher gehörigen Arten fast im ganzen (besonders allerdings im mittleren und oberen) Eozän und auch im Unter-Oligozän auftreten.[1]

Hingegen bieten uns die Nummuliten zur genaueren Ermittlung des vorhandenen Paläogenniveaus hinreichende Anhaltspunkte.

Die in den untersuchten Geröllen enthaltenen Nummulitenarten sind die folgenden:

Assilina exponens Sow.
Nummulina irregularis Desh.

---

[1] Vgl. V. Uhlig, Mikrofauna aus dem Alttertiär der westgalizischen Karpathen, p. 152, und P. L. Prever, Fauna a Nummuliti e ad Orbitoidi dell'Aniene, p. 11 und 13.

Nummulina Murchisoni Brunn.
— *atacica* Leym.
— *millecaput* Boub.
— *perforata* de Montf.

Dabei ist jede der Nummulina-Spezies in dem einen oder anderen Gerölle mit *Assilina exponens* Sow. vergesellschaftet und überdies *Nummulina millecaput* Boub. mit *N. perforata* de Mntf. in einem Rollstücke zusammen beobachtet.[1]

Wenn wir die von Ph. de la Harpe, H. Douvillé, Arn. Heim, P. L. Prever und J. Boussac entworfenen stratigraphischen Nummuliten-Skalen zurate ziehen[2], so können wir daraus für die genannten Nummuliten etwa nachstehende vertikale Verbreitung entnehmen.

hh sehr häufig *h* häufig oder ziemlich häufig *s* selten und in beschränktem Gebiete	*N. exponens*	*N. irregularis*	*N. Murchisoni*	*N. atacicus*	*N. millecaput*	*N. perforatus*
Ober-Eozän	—	—	—	—	*s* (Italien, Dalmatien)	—
Auversien	*s*	—	—	*h*	*h*	*h*
Ober-Lutétien	*h*	*h*	*h*	*hh*	*hh*	*h*
Mittel-Lutétien	*h*	*h*	*h*	*h*	*hh*	*h*
Unter-Lutétien	*h*	*hh*	*hh*	*h*	*h*	*h*
Unter-Eozän	—	*s* (Italien)	—	—	—	—

[1] Vgl. die Tabelle auf p. 16 und 17 [186 und 187].

[2] Vgl. Ph. de la Harpe, Étude des Nummulites de la Suisse (1881), p. 76 und 77; P. L. Prever, Le Nummuliti della Forca di Presta (1902), p. 119; H. Douvillé, Terrain nummulitique du bassin de l'Adour. Bull. de la Soc. géol. de France, 4. sér., tom. V (1905), p. 55; J. Boussac, Sur le terrain nummulitique a Biarritz et dans le Vicentin (1906), p. 558 bis 559; Arn. Heim, Die Nummuliten- und Flyschbildungen der Schweizeralpen (1908), p. 291; J. Boussac, Études paléontologiques sur le Nummulitique alpin (1911), p. 107; P. L. Prever, La fauna a Nummuliti e ad Orbitoidi dei terreni terziarii dell'alta valle dell'Aniene (1912), p. 16 und 21; vgl. auch die Abhandlung von J. Boussac, Études stratigraphiques sur le Nummulitique alpin. Mém. pour serv. à l'explic. de la Carte géol. détaill. de la France (1912).

Für die allgemeine Orientierung dürfte es nicht unzweckmäßig erscheinen, wenn wir hier die Gliederung des Eozäns, wie sie mit all den eben zitierten Untersuchungen am besten in Einklang steht, kurz anführen:

Unter-Oligozän = Ligurien = Zone Nr. 7 Ph. de la Harpe's.

Ober-Eozän = Priabonien { Ludien = Zone Nr. 6 Ph. de la Harpe's; Bartonien = » » 5 » » » »

Mittel-Eozän { Auversien = oberstes Lutétien oder unterstes Bartonien *autorum*.; Lutétien: { oberes = Zone Nr. 4 Ph. de la Harpe's; mittleres = » » 3 » » » »; unteres = » » 2 » » » »

Unter-Eozän = Yprésien = Suessonien = Zone Nr. 1 Ph de la Harpe's.

Paleozän

Fossilführung der mikroskopisch untersuchten Eozängerölle von Radstadt.

Namen der Fossilien	Gerölle mit den dazugehörigen Dünnschliffen Nr.:																				
	1–4	5	6–7	8–10	11	12	13	14–15	16, 17, 34, 35	18	19, 30	20	21	22	23	24, 31, 32	25, 33	26	27	28	29
Gesteinstypen nach der Beschreibung p. 11 [181] ff.	(8)	(2)	(3)	(2)	(3)	(3)	(1)	(3)	(7)	(2)	(6)	(1)	(2)	(1)	(3)	(4)	(2)	(2)	(1)	(5)	1.
Furcoporella diplopora n. sp. (Pia)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lithothamnium torulosum Gümb.	+	+	+	+	+	.	+	+	+	+	.	+	+	+	.	+	+	+	+	+	+
» *nummuliticum* Gümb.	?	?	.	+	+	.	+	+	+	+	.	+	.	+	.	+	+	.	+	.	+
» (?) sp.	.	+	.	+	.	.	.	+	.	.	.	+	.	+	.	+	+	.	.	.	+
Haplophragmium sp.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.
Orbitolites cf. *complanata* Lam. sp.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	+	.	+	.
Alveolina oblonga d'Orb.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	+	+	+	.	+	.	.	.	+	.	+	.
Miliola sp.	.	.	+	+	.	.	.	.	+	.	+	+	.	+	+	+	+	+	.	+	+
Biloculina bulloides d'Orb.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	?	.	.	.	.	.	.	.	.	+	?
Miliolina (*Triloculina*) *tricarinata* d'Orb.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.
„ » sp.	+	.	+	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
» (*Quinqueloculina*) sp.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.
Nodosaria cf. *acuminata* Hantk.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Cristellaria (*Robulina?*) sp.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Textularia sp.	+	+	+	+	+	+	+	+	.	.	+	.	.	.	.	+	+	+	+	+	+
Bolivina sp.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Globigerina bulloides d'Orb.	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Orbulina universa d'Orb.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Discorbina sp.	.	+	+	.	.	+	+	.	.	.	.	+	+	.	.	+	+	.	+	.	.
Planorbulina cf. *mediterranensis* d'Orb.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Truncatulina bullata Frnzn. sp.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	.
» sp.	+	.	.	+	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	+	.	.
Rotalia cf. *lithothamnica* Uhl.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.
„ n. sp.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
» n. sp. aff. *Schroeteriana* Park et Jon.	+	+	.	+	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.
» sp.	+	+	.	+	.	.	.	+	+	.	.	+	.	.	.	+	+	.	.	.	.
Pulvinulina bimammata Gümb. sp.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Pulvinulina rotula Kfm. sp.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.
Polytrema planum Cart.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.
Gypsina globulus Rss. sp.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.
» *vesicularis* Park. et Jon. sp.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.
Pseudogypsina multiformis n. sp.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.
Rupertia furcataseptata n. sp.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+
Operculina sp.	+	.	.	.	.	+	.	.	+	.	.	.	.	.	+	.	.	+	.	.	.
Nummulites (Assilina) exponens Sow.	+	+	+	+	+	+	+	.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	.
» *(Paronaea) irregularis* Desh.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	+	.	.	.	.	.
» » *Murchisoni* Brunn.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	?	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.
» » *atacicus* Leym.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.
» » *millecaput* Boub.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+
» *(Gümbelia) perforatus* de Montf.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	+
Nummulina sp.	+	+	+	+	+	+	+	.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Orthophragmina discus Rtm. var. n. *minima*	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.
» *Pratti* Mich. sp.	+	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	+	+
» *radstadtensis* n. sp.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+
» *varians* Kfm. sp.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+
» *dispansa* Sow. sp.	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+
» *Douvillei* Schlumb.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	?	.	.	.	.	.	.	.	+
» *Taramellii* Mun.-Chalm.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+
» sp.	+	.	+	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	+	.	.	.
Anthozoa (Actinacis, Astraeopora etc.)	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.
Echinodermata (Crinoidea, Echinoidea)	+	+	+	+	+	+	.	+	+	+	+	.	+	+	.	+	.	+	+	+	+
Serpula sp.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.
Bryozoa (Cyclostomata, Cheilostomata)	+	+	.	+	+	+	.	+	.	+	.	.	+	+	.	.	.	+	.	.	+
Terebratulidae	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	?	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lamellibranchiata (Ostrea, Pecten etc.)	+	+	.	.	.	.	.	+	.	+	+	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.
Dentalium cf. *nitidum* Desh.	.	.	+	.	+	+	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	+	+	.	.	.
Gastropoda (Natica etc.)	?	.	.	.	.	+	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Versuchen wir es nun, auf Grund dieser Tabelle die stratigraphische Position der verschiedenen, im Radstädter Geröll-Paläogen vertretenen Gesteinstypen zu ermitteln, so gelangen wir dabei zu einem Ergebnisse wie folgt:

1. Von den sandig-konglomeratischen Nummulitenkalken könnte das zu Schliff Nr. 20 gehörige Gerölle nach der Führung von *Nummulites exponens*, ? *N. Murchisoni* und *N. perforatus* dem unteren Lutétien entsprechen. Für die übrigen derartigen Rollstücke[1] läßt sich nur im allgemeinen ein Lutétien- und höchstens ein Auversien-Alter ableiten.

2. Dasselbe gilt für die hellgrauen, sandigen Kalke, von denen bloß zwei Rollstücke — allerdings mit einer gewissen Reserve — eine nähere Horizontierung gestatten: Das zu Schliff Nr. 18 gehörige, welches *Nummulites exponens* und *N. irregularis* enthält, mag vielleicht unterlutezisch, das zu den Schliffen Nr. 8 bis 10 gehörige mit *N. exponens* und *N. atacicus* eventuell oberlutezisch sein.

3. Unter den bräunlichen, sandigen Kalken dürfte das Gerölle mit Schliff Nr. 12 und *Nummulites exponens, N. irregularis* und *N. Murchisoni* dem Unter-Lutétien entsprechen, während sich die übrigen nur als lutezisch im allgemeinen oder höchstens auversisch kennzeichnen lassen.

4. Dieses ungefähre Alter kommt auch dem bräunlichen, sandigen Dentalien-Kalk (Schliff Nr. 24, 31, 32),

5. dem sandigen Glimmerkalk (Schliff Nr. 28) und

6. dem dunkelgrauen Gastropodenkalk (Schliff Nr. 19, 30) zu.

7. Die in dem rot- und graugesprenkelten Kalkstein (Schliff Nr. 16, 17, 34, 35) enthaltenen Arten *Nummulites exponens* und *N. millecaput* weisen vielleicht ebenso wie

8. die in dem reinen weißlichen Kalk (Schliff Nr. 1 bis 4) beobachteten Spezies *Nummulites millecaput* und *N. perforatus* auf mittleres oder oberes Lutétien, eventuell sogar auf Auversien hin, so daß diese beiden an Orthophragminen besonders reichen Gesteinsarten möglicherweise die jüngste Ablagerung des Radstädter Eozäns darstellen.

Wer hingegen den Unterschieden in der Nummulitenführung der einzelnen Gerölle einen mindergroßen chronologischen Wert beimessen will, wird geneigt sein, die verschiedenen Gesteinstypen als etwa gleichzeitig nebeneinander im Radstädter Fjorde abgesetzte Bildungen von differenter lithologischer Fazies zu betrachten.

Mag dem aber auch sein wie immer, jedenfalls wird man ihnen allen mit gutem Recht im allgemeinen ein mitteleozänes Alter zusprechen dürfen.

Der alttertiäre Charakter der Radstädter Geröllfauna findet auch in einigen der übrigen Foraminiferen einen nicht zu verkennenden Ausdruck, wenngleich sie natürlich den Orthophragminen oder gar den Nummuliten bei weitem an stratigraphischer Bedeutung nachstehen. So sind *Alveolina oblonga* d'Orb. bisher bloß aus dem Eozän, *Pulvinulina bimammata* Gümb. sp. und *P. rotula* Kfm. sp. aus dem Eozän oder Oligozän und *Nodosaria acuminata* Hantk. und *Truncatulina bullata* Frnzn. sp. aus dem Oligozän bekannt gewesen, und *Rupertia furcateseptata* n. sp. findet in einer Spezies (*R. Uhligi* Lrd.) des oberitalienischen Eozäns ihre nächste Verwandte.

Schließlich deuten auch *Lithothamnium torulosum* Gümb. und *L. nummuliticum* Gümb. wie *Dentalium* cf. *nitidum* Desh. auf eozänes Alter hin.[2]

---

[1] Vgl. hier und bei den folgenden Zeilen die Tabelle auf p. 16 und 17 [186 und 187], welche für jedes genauer untersuchte Gerölle den Gesteinstypus und die Nummulitenführung angibt.

[2] Vgl. die Tabelle auf p. 104 bis 106 [274 bis 276].

Fazies und Vergleich mit anderen Ablagerungen.

(Vgl. die Tabelle p. 104 bis 106 [274 bis 276]).

Die Annahme, daß das Radstädter Eozän in einer in die damalige »Alpeninsel« eingedrungenen, fjordartigen Bucht abgelagert worden ist, steht mit dem litoralen oder Seichtwasser-Charakter sowohl seiner Gesteine als seiner Fossilführung im besten Einklange.

Daß der Eozänfjord im Pongau ein Gestade aus Pinzgauer Phylliten (Grauwackenschiefern) und Mandlingtrias bespült hat, wie sie bei Radstadt anstehen, verrät sich in den Quarzgeröllchen und Bröckchen von Phyllit, Mandlingdolomit und Zaimkalk, die wir in den konglomeratisch entwickelten und augenfällig ufernahen Nummulitenkalken mitunter beobachtet haben. Und auch die Sandkalke und die weißlichen und die rotgrauscheckigen Orthophragminenkalke müssen, wie schon aus dem Vorhandensein von Lithothamnienfragmentchen hervorgeht, in relativ geringer Tiefe abgesetzt worden sein, erstere an Stellen, denen reichlich feinerer Quarzsand zugeschwemmt werden konnte, letztere an solchen, die vor klastischer Verunreinigung geschützt waren und mit ihrem kalkig-schlammigen Boden die Entwicklung eines mannigfaltigen benthonischen Foraminiferenlebens besonders begünstigten.

Die in fast allen genauer untersuchten Geröllen — und zwar in einigen besonders zahlreich — festgestellten Nulliporenreste und die auch vereinzelt angetroffenen stockbildenden Anthozoën-Gattungen *Actinacis* und *Astraeopora* legen die Vermutung nahe, daß die Fjordküste, an einzelnen Punkten wenigstens, von Korallenriffen begleitet war, an deren Bildung sich wie gegenwärtig[1] die erwähnten Kalkalgen stark beteiligt haben mögen.

Diese Rolle der Lithothamnien ist kürzlich wieder mit besonderem Nachdrucke bezüglich des Funafuti-Atolles, einer der Inseln der polynesischen Ellice-Gruppe, von F. Chapman beton worden[2], der auch auf die hervorragende Bedeutung des Foraminiferenbenthos für die Zusammensetzung des die feste Riffmasse begleitenden und ummantelnden Kalksandes mit folgenden Worten hingewiesen hat:[3] »The Foraminifera, however, constitute the greater proportion of the enormous deposits of sand associated with the reef formation, and which speedily become consolidated into limestone-rock through the chemical changes, which so readily take place therein. The most important genera of the Foraminifera which were found in these coral deposits, taken in the relative order of their abundance, are *Amphistegina, Heterostegina, Polytrema, Tinoporus, Orbitolites, Carpenteria, Gypsina, Calcarina* and *Miliolina.*« Und später fährt er fort: »Among other active agents in the building of the limestonereefs may be mentioned the Alcyonarians, Echinoderms, Serpula and the Mollusca«, Tiere, deren Reste wir ja auch zum Teil in unseren Radstädter Gesteinen wahrgenommen haben.

Die meisten der in unserem Eozän beobachteten Foraminiferengeschlechter sehen wir auch freilich mit viel zahlreicheren und nur zu einem geringen Teile mit unseren identischen Arten in dem von F. Chapman[4] aus dem Bereiche des Funafuti-Atolles — dem Riffkalke, der Lagune, der Außenböschung oder dem relativ seichten Wasser (16 bis 200 Faden Tiefe) der Umgebung — studierten Material vertreten. Es sind die Genera *Haplophragmium, Orbitolites, Alveolina, Biloculina, Miliolina, Nodosaria, Cristellaria, Textularia, Bolivina, Globigerina, Orbulina, Discorbina, Planorbulina, Truncatulina, Rotalia, Pulvinulina, Polytrema* und *Gypsina.*

Das am Funafuti-Riff durch eine Art, *Cycloclypeus Carpenteri* Brady, repräsentierte Genus, welches uns auch in einem Dünnschliffe des Eozäns von Kirchberg am Wechsel vorliegen dürfte, ist bei Radstadt noch nicht beobachtet worden.

---

[1] Vgl. J. Walther, Lithogenesis der Gegenwart. (Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft, III), p. 928 bis 929.

[2] F. Chapman, The Journal of the Linnean Society. Zoology. Vol. XXVIII (London 1900 bis 1903), p. 1.

[3] Vgl. F. Chapman, l. c., p. 2.

[4] Vgl. F. Chapman, l. c., p. 1 ff, p. 161 ff., p. 379 ff.

Während die planktonischen Oberflächenformen *Globigerina (Gl. bulloides* d'Orb.) und *Orbulina* (*O. universa* d'Orb.) wegen ihrer kosmopolitischen Verbreitung für die fazielle Charakterisierung unserer Ablagerung ohne Belang sind[1], erweisen sich die hier dominierenden Benthos-Gattungen dazu recht wertvoll.[2]

Unter ihnen gelten *Alveolina, Miliolina, Bolivina, Discorbina* und *Rotalia* — so wie *Cycloclypeus*[3] — im allgemeinen als Bewohner von verhältnismäßig geringen Tiefen, desgleichen leben die im Radstädter Eozän vorhandenen Arten, die freibewegliche *Gypsina globulus* Rss. sp., die wohl zum Teil angeheftete *Gypsina vesicularis* Park. et Jon. sp. und das ausgesprochen sessile *Polytrema planum* Cart. gegenwärtig nur in der Seichtsee (höchstens in 731 *m* Tiefe), und zwar zumeist auf den Korallensanden der warmen Breiten (malayischer Archipel, Funafuti u. a.).

Planorbulina mediterranensis d'Orb. ist eine ausgesprochene (bloß selten unter 91 *m* lebende) Flachseeart der gemäßigten und tropischen Meere.

Die von uns angeführten Formen von *Cristellaria, Textularia* und *Operculina* können ferner am besten an rezente Seichtwasserspezies angeschlossen werden. Auch die Nummuliten und unsere ausschließlich alttertiären Orthophragminen[1] und Pulvinulinen — *Pulvinulina bimammata* Gümb. sp. und *P. rotula* Kfm. sp. — hat man bisher fast immer nur in Sedimenten von neritischer, höchstens von bathyaler Entstehung angetroffen. Endlich sind die nächsten Verwandten unserer *Rupertia furcateseptata* n. sp. — *R. Uhligi* Lrd. und *R. incrassata* Uhl. — gleichfalls aus litoralen Ablagerungen (Paläogen von Wola luzańska in Westgalizien und von Norditalien) beschrieben worden.[5]

Dieselben Anklänge, welche unsere Foraminiferen an die Seichtwasserfauna des Funafuti-Atolles, respektive Polynesiens im allgemeinen aufweisen, lassen sie auch mit der im Gebiete des malayischen Archipels (Java, Borneo, Celebes, Letti, Neu-Guinea, Bismarck-Archipel) vom Jungtertiär bis zur Gegenwart auftretenden erkennen. Ein Blick in die dieser Region gewidmeten Veröffentlichungen H. Douvillé's, L. Rutten's, R. J. Schubert's[6] u. a. läßt es leicht ersehen. Wie bei Funafuti finden wir auch hier die interessanten, bei Radstadt beobachteten Spezies *Gypsina globulus* Rss. sp., *G. vesicularis* Park. et Jon. sp. und *Polytrema planum* Cart. (zusammen mit dem Genus *Cycloclypeus*) wieder und können die von uns als *Rotalia* n. sp. und *R.* n. sp. aff. *Schroeteriana* Park. et Jon. bezeichneten Formen am ehesten mit solchen aus dem Altmiozän, bezüglich Quartär von Celebes in Beziehung setzen.

Es hat den Anschein, wie wenn die an neritische, lithothamnienführende Ablagerungen geknüpfte Foraminiferenwelt des europäisch-mediterranen Paläogens sich vom Jungtertiär an namentlich in die tropischen Seichtseegebiete des indomalayischen und polynesischen Archipels zurückgezogen hätte, wobei an die Stelle der arten- und individuenreichen Nummuliten neben deren sporadischer Epigonenspezies *Nummulites doengbroeboesi* Verb. (Altmiozän) und *N. Cumingii* Carp. (rezent) namentlich die Amphisteginen und Heterosteginen, an Stelle der damals blühenden Orthophragminen und Lepidocyclinen die allerdings ungleich seltenere Gattung *Cycloclypeus* getreten wären.

---

1 Denn ihre Schalen können daher in allen Meerestiefen vorkommen, von der Strandlinie an bis in die abyssischen Regionen. Vgl. J. Walther, Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft. p. 213 bis 215.

2 Vgl. Walther, l. c., p. 213.

3 Diese Gattung ist jetzt fast ausschließlich auf die tropischen und subtropischen Seichtseegebiete des pazifischen und indischen Ozeans und der Sundasee beschränkt, wo sie gewöhnlich zwischen 50 und 400 *m*, am häufigsten in 100 *m* Tiefe auf den korralligenen Sanden nahe den Riffen auftritt.

4 Vgl. J. Boussac, Études stratigraphiques sur le Nummulitique alpin, p. 649 ff.

5 Vgl. V. Uhlig, Über eine Mikrofauna aus dem Alttertiär der westgalizischen Karpathen, p. 184, und Z. Leardi, Foraminiferi eocenici di S. Genesio (1904), p. 159 und (1905) p. 103.

6 Vgl. die Zitate im Verzeichnis der von uns benützten Foraminiferen-Literatur, p. 99 [269] ff.

Hat die Radstädter Lutétien-Fauna auch mit der durch V. Uhlig's sorgfältige Untersuchung wohlbekannten und dem obersten Eozän oder untersten Oligozän angehörigen Mikrofauna von Wola luzańska (unweit von Gorlice) in der westgalizischen Flyschzone [1], wie es ja bei dem Altersunterschiede zwischen beiden nicht zu verwundern ist, keine einzige Nummulitenart gemeinsam, so stimmt sie mit ihr doch in einigen Orthophragminenspezies (*Orthophragmina Pratti* Mich. sp., *O. varians* Kfm. sp., *O. dispansa* Sow. sp.) und mehreren anderen Foraminiferenformen, unter denen wir *Rotalia lithothamnica* Uhl., *Pulvinulina bimammata* Gümb. sp., *P. rotula* Kfm. sp. und *Gypsina globulus* Rss. sp. als besonders charakteristisch hervorheben, überein. Und Uhlig's *Rupertia incrassata* Uhl. und *Truncatulina Dutemplei* d'Orb. stehen unseren Arten *R. furcateseptata* n. sp. und *Truncatulina bullata* Frnzn. sp. ziemlich nahe.

Die fazielle Ähnlichkeit der beiden Ablagerungen tritt uns deutlich vor Augen, wenn wir die von V. Uhlig (l. c., p. 163) entworfene Schilderung der im Paläogen von Wola luzańska herrschenden Lebensverhältnisse lesen: »Während der Flysch im allgemeinen sehr arm an Tierresten ist, geben uns die untersuchten sandigen Kalke Kunde von einem reichen tierischen Kleinleben, das sich offenbar unter dem Schutze der Lithothamnienvegetation entwickelte. An einzelnen seichten, von Trübung und starker Sandzufuhr geschützten Stellen siedelten sich Lithothamnien an, neben welchen inkrustierende und ästige Moostierchen üppig gediehen. Diese Lithothamnien- und Bryozoëngründe wurden von vielen litoralen Foraminiferen, von denen einige eine festsitzende Lebensweise führten, bewohnt und wurden überdies belebt von mehreren höher organisierten Tiertypen, die aber merkwürdigerweise stets nur durch zwerghafte Formen vertreten waren. Ziemlich häufig waren kleine Seeigel, von denen man kleine Täfelchen und zarte Radiolen vorfindet, schon seltener Crinoiden und kleine Asteroiden, deren Anwesenheit sich ebenfalls durch einzelne Glieder verrät. Kleine Krebschen und Ostracoden waren ebenfalls ziemlich häufig; dagegen scheinen beschalte Mollusken nicht gediehen zu sein, da sich nur verkümmerte Bruchstücke eines *Pecten* und einer Auster vorfanden. Ein wichtiges Glied der Fauna bildeten die kleinen Brachiopoden, welche nächst Bryozoën und Foraminiferen am zahlreichsten vertreten waren. Einige Selachierzähne beweisen das Vorhandensein von Fischen, aber auch diese Zähnchen sind viel kleiner als man sie sonst anzutreffen gewohnt ist.«

Wenngleich wir nun allerdings die in dieser Darstellung besonders hervorgehobenen kleinen Brachiopoden (der Gattungen *Terebratulina, Argiope, Cistella* und *Thecidium*) wie die Crustaceenreste und Haifischzähnchen in dem von uns untersuchten Eozänmaterial von Radstadt vermissen, so besteht doch in der reichen Entfaltung der Lithothamnien, Foraminiferen und Bryozoën eine so auffällige Übereinstimmung, daß sie trotz jener Differenzen entschieden betont zu werden verdient.

Manche der im Paläogen von Wola luzańska auftretenden Foraminiferen sind auch dem damit gleichalterigen (obereozänen oder unteroligozänen) Alttertiär von Bruderndorf bei Stockerau in Niederösterreich wie dem Radstädter Eozän gemeinsam, so *Rotalia lithothamnica* Uhl., *Pulvinulina bimammata* Gümb. sp., *P. rotula* Kfm. sp., *Orthophragmina Pratti* Mich. sp., *O. dispansa* Sow. sp. u. a. [2]

Weitgehend ist die Übereinstimmung, welche die mitteleozäne Organismenwelt von Radstadt mit jener der altersgleichen und in ähnlicher lithothamnienführender Seichtwasserfazies entwickelten Bildungen der südbayrischen Kressenberger Schichten (Mergel [Stockletten] und damit verknüpften Granitmarmors von Kressenberg, Eisenärzterkalks etc.) aufweist. [3]

---

[1] Vgl. V. Uhlig, l. c.

[2] Vgl. A. Rzehak, Die Foraminiferenfauna der alttertiären Ablagerungen von Bruderndorf in Niederösterreich (1891), 12 p.

[3] Vgl. besonders K. E. Schafhäutl, Südbayerns Lethaea geognostica Der Kressenberg etc., C. W. Gümbel, Beiträge zur Foraminiferenfauna der nordalpinen Eozängebilde, O. M. Reis, Erläuterungen zu der geologischen Karte der Vorderalpenzone zwischen Bergen und Teisendorf, I. Stratigraphischer Teil (Geognost. Jahresh., VIII [1895], bs. p. 30 ff. p. 76), und J. Boussac, Études stratigraphiques sur le Nummulitique alpin (1912), p. 554 bis 558.

Zu den identischen Spezies *Lithothamnium torulosum* Gümb., *L. nummuliticum* Gümb., *Alveolina oblonga* d'Orb., *Globigerina bulloides* d'Orb., *Pulvinulina bimammata* Gümb. sp., *P. rotula* Kfm. sp., *Nummulites exponens* Sow., *N. irregularis* Desh., *N. Murchisoni* Brunn., *N. atacicus* Leym., *N. millecaput* Boub., *N. perforatus* de Montf., *Orthophragmina Pratti* Mich. sp., *O. varians* Kfm. sp., *O. dispansa* Sow. sp. und *O. Taramellii* Mun.-Chalm. werden sich gewiß noch verschiedene andere sonstiger gemeinsamer Gattungen (wie *Cristellaria, Textularia, Discorbina, Truncatulina, Rotalia, Operculina*) gesellen lassen, wenn unsere und C. W. Gümbel's Untersuchungen über diese Foraminiferenfaunen durch weitere mikroskopische Studien einen Ausbau erfahren haben werden. Es ist wohl kaum zu bezweifeln, daß man dann auch die bisher in den Kressenberger Schichten noch unbekannten Vertreter der Genera *Polytrema, Gypsina* und *Rupertia* wird feststellen können. Das Auftreten von Korallen, Echinodermen, Serpeln, Bryozoën und Mollusken vervollständigt die zwischen beiden Faunen bestehenden Beziehungen.

Eine ähnliche Lebewelt findet sich auch in den von E. Fugger für Bartonien gehaltenen Eozängesteinen, welche, die Nierentaler Schichten überlagernd, die nördlichen und westlichen Vorhügel des Untersberges bei Reichenhall bilden. Der genannte Forscher beschreibt sie mit folgenden Worten:[1] »Es sind teils mehr oder minder harte, graue, graublaue oder gelbliche Sandsteine, die unter Umständen konglomeratartig werden, teils graue Mergel, welche stellenweise die Zusammensetzung natürlicher Zementsteine besitzen. Sandsteine und Mergel sind häufig reich an Versteinerungen, besonders an Nummuliten und anderen Foraminiferen, aber auch an Korallen, Muscheln, Schnecken; auch einige Echiniden, Bryozoën, eine nicht näher bestimmbare Terebratula, eine Krebsscheere sowie Haifischzähne wurden darin gefunden.«

Ob es sich bei dieser Ablagerung tatsächlieh um Ober-Eozän handelt, scheint indessen einigermaßen zweifelhaft, nachdem erst kürzlich R. J. Schubert nachdrücklich das Vorkommen mitteleozäner Zonen im Reichenhaller Gebiete hervorgehoben hat.[2]

In den sich südlich daran schließenden Stockletten und Sandsteinen des Tongrabens am Passe Hallthurm beobachtete Cl. Lebling[3] neben seltenen Nummulitenschälchen (*Nummulites striatus* Brug. sp., einer Art des Auversien und Bartonien[4]) auch Reste von Lithothamnien, kleinen Gastropoden (*Nerita?*), Bivalven und kleinen Dentalien, welch letztere möglicherweise dem von uns aus dem Radstädter Lutétien beschriebenen *Dentalium* cf. *nitidum* Desh. entsprechen könnten.

Was die dem Kressenberger Mittel-Eozän äquivalenten und faziell recht nahestehenden Nummulitenschichten von Mattsee am Nordsaume der salzburgischen Flyschzone betrifft, so zeigt zwar ihre Organismenwelt durch das Auftreten von Lithothamnien (*Lithothamnium torulosum* Gümb., *L. nummuliticum* Gümb.), Protozoën, Anthozoën, Echinodermen, Serpeln, Molluscoiden und Mollusken eine gewisse Analogie des Gesamtgepräges mit jener von Radstadt, gestattet es aber infolge der noch unvollständigen Erforschung ihrer Foraminiferen leider nicht, den Vergleich mit dieser Fauna über die Nummuliten, von denen *Nummulites exponens* Sow., *N. irregularis* Desh., *N. atacicus* Leym., *N. millecaput* Boub. und *N. perforatus* de Montf. beiden gemeinschaftlich sind, und ganz vereinzelte andere Formen wie *Operculina* cf. *complanata* Defr. sp., *Orthophragmina discus* Rtm. sp. und *O. Pratti* Mich. sp. auszudehnen.[5]

---

[1] Vgl. E. Fugger, Erläuterungen zur geologischen Karte der im Reichsrate vertretenen Königreiche und Länder der Österr.-ungar. Monarchie. SW-Gruppe Nr. 18, Hallein und Berchtesgaden, p. 23.

[2] Vgl. R. J. Schubert, Über mitteleozäne Nummuliten aus dem mährischen und niederösterreichischen Flysch. Verhandl. der k. k. geol. Reichs-A., 1913, p. 128.

[3] Cl. Lebling, Geologische Beschreibung des Lattengebirges im Berchtesgadener Land. Geognost. Jahresh., 24. Jahrg. (1912), p. 65.

[4] Vgl. J. Boussac, Études paléontologiques sur le Nummulitique alpin (1911), p. 42.

[5] Vgl. O. M. Reis, l. c. (1895), p. 55 bis 57, E. Fugger, Das Salzburger Vorland, Jahrb. d. k. k. geol. Reichs-Anst., Bd. XLIX (1899), p. 390 bis 392, und J. Boussac, l. c. (1912), p. 560 bis 561.

Die vielfachen biologischen Beziehungen, welche zwischen den ungefähr gleichalterigen Eozänbildungen von Radstadt, Kirchberg am Wechsel und Wimpassing am Leithagebirge bestehen, sind der Ausdruck ihrer ähnlichen, ufernahen Ablagerungsverhältnisse. Als allen drei Vorkommnissen gemeinsam sind die Arten *Lithothamnium torulosum* Gümb., *L. nummuliticum* Gümb., *L.* (?) spec., *Truncatulina bullata* Frnzn. sp., *Rotalia* n. sp. aff. *Schroeteriana* Park. et Jon., *Pulvinulina bimammata* Gümb. sp., *P. rotula* Kfm. sp., *Nummulites* (*Assilina*) *exponens* Sow., *Orthophragmina discus* Rtm. sp. var. n. *minima, O. Pratti* Mich. sp. und *Dentalium* cf. *nitidum* Desh. sowie die Gattungen *Miliolina* (*Triloculina* und *Quinqueloculina*), *Textularia, Discorbina, Operculina, Nummulina, Ostrea* und *Pecten* und nicht näher bestimmbare Echinodermen- und Bryozoënreste zu nennen. Dazu kommen dann noch einerseits *Globigerina bulloides* d'Orb., *Orthophragmina dispansa* Sow. sp., *O. Taramellii* Mun.-Chalm. und die Genera *Actinacis* und *Serpula,* die zugleich im Radstädter und Kirchberger, andrerseits *Alveolina oblonga* d'Orb. und die Gattungen *Haplophragmium* und *Astraeopora,* die im Radstädter und Wimpassinger Eozän auftreten. Ein merkwürdiger Charakterzug dieser und der Kirchberger Ablagerung scheint das ziemlich starke Zurücktreten der bei Radstadt so häufigen Nummulinen hinter den Assilinen-Schälchen zu sein.

Von dem nach J. Boussac mit Ausnahme des obersten Horizontes[1] dem oberen Lutétien angehörigen und von K. A. Penecke in einen roten Liegendton, dann bläulichschwarzen *Modiola*-Mergel, Brackwasserfossilien führende Glanzkohlenflötze, einen an marinen Conchylien reichen Gastropoden-Mergel, Nummuliten-Mergel, Nummuliten-Kalk und *Variolarius*-Sandstein (mit *Nummulites variolarius* Lam.) im Hangenden gegliederten Eozän bei Guttaring im Krappfelde (Kärnten)[2] kommen für einen faunistischen Vergleich mit den Paläogengesteinen von Radstadt nur die beiden Nummuliten-Niveaus (-Mergel und -Kalk) in Betracht, welche außer zahlreichen Foraminiferen (vorherrschend Nummuliten) auch Anthozoën, Echinodermen, eine Serpel (*Serpula* cf. *gordialis* Schlth.) und Terebratel (*Terebratula tamarindus* Sow.) und verschiedene Mollusken (Bivalven wie *Ostrea, Pecten* etc., Gastropoden, eine *Nautilus*-Art) beherbergen. Die meisten der bei Radstadt vorkommenden Nummuliten und Orthophragminen finden sich auch hier bei Guttaring, so *Nummulites exponens* Sow., *N. Murchisoni* Brunn., *N. atacicus* Leym., *N. millecaput* Boub., *N. perforatus* de Montf., *Orthophragmina Pratti* Mich. sp., *O. varians* Kfm. sp., *O. dispansa* Sow. sp., und die an letzterer Lokalität auftretenden Arten *Orbitolites complanata* Lam. und *Operculina Karreri* Pen. stehen den in den Radstädter Schliffen beobachteten Vertretern dieser Genera jedenfalls sehr nahe.

Von den bezeichneten Gattungen und einer *Alveolina* (*A. longa* Cz.) abgesehen, ist die Foraminiferenfauna des Krappfeldes noch unbekannt, so daß die Feststellung weiterer Analogien zwischen ihr und jener von Radstadt leider unterbleiben muß.

Die von uns untersuchten kleinen Dentaliengehäuse schließen sich dem aus dem Eozän (sables inférieurs) des Pariser Beckens und dem Gastropodenmergel des Krappfeldes beschriebenen *Dentalium nitidum* Desh., die im Radstädter Dünnschliff Nr. 35 enthaltene *Nodosaria* an *N. acuminata* Hantk. aus dem Oligozän von Budapest an, aus welchem auch *Truncatulina bullata* Frnzn. sp. zuerst bekannt geworden ist.

Als eine recht seltene Art ist *Orthophragmina Douvillei* Schlumb. zu bezeichnen, die man bisher nur im Eozän von Südfrankreich und des Anienegebietes bei Rom (Lutétien) angetroffen hat.

---

[1] Des hangenden *Variolarius*-Sandsteines, welcher dem Auversien oder Bartonien entsprechen mag.

[2] Vgl. über das Eozän von Guttaring K. A. Penecke, Das Eozän des Krappfeldes in Kärnten (1884), P. Oppenheim, Über einige alttertiäre Faunen der österreichisch-ungarischen Monarchie (1901), p. 145, P. L. Prever und A. Rzehak, Über einige Nummuliten und Orbitoiden von österreichischen Fundorten (1904), p. 190, und J. Boussac, l. c. (1912), p. 607 bis 610.

Das Eozän bei Kirchberg am Wechsel.

Das 1879 von F. Toula[1] bei Kirchberg am Wechsel entdeckte Eozänvorkommen liegt auf der als »Goldberg« bekannten Höhe, welche von dem sogenannten »Ramsrücken« (Höhenzug Ramssattel [818 *m*]—Am Eck [881 *m*]) nach Süden bastionartig gegen das Ottertal in zirka 2 *km* nordwestlicher Entfernung von Kirchberg vorspringt.

Wir entnehmen die folgenden Angaben über sein Auftreten und seine petrographische Ausbildung teils der Beschreibung F. Toula's, teils der Darstellung H. Mohr's[2], der sich vor einigen Jahren anläßlich seiner geologischen Studien im Semmeringgebiete näher mit dieser interessanten Ablagerung beschäftigt hat. In J. Boussac's für die Kenntnis des alpinen Eozäns grundlegendem Werke »Études stratigraphiques sur le Nummulitique alpin« erscheint dieselbe nur ganz flüchtig erwähnt.[3]

Das Gebiet des »Goldberges«, welches durch das Vorkommen der Eozängesteine ausgezeichnet ist, reicht von der Höhe des Ramsrückens (nach F. Toula von dem etwas nordöstlich vom Ramsbauern-Wirtshause gelegenen Mies-Hofe und nach H. Mohr vom Gehöfte »Am Eck«) im Norden bis ins Ottertal (bei dem südwestlich vom Fankl-Hofe befindlichen Gehöfte Spies) im Süden und wird gegen Osten und Westen durch zwei Hohlwege (oder Wassergräben) begrenzt, die einerseits (im Osten) aus dem Ottertal gegen die Gehöfte Fankl und Rumpler, andrerseits (im Westen) vom Orte Otterta) am Fuchshofe vorbei nordostwärts gegen die Ramshöhe emporziehen.

Es handelt sich dabei hauptsächlich um größere und kleinere in einer sandig-lehmigen, miozänen Süßwasserablagerung[4] eingebettete und daraus lose auswitternde Gesteinsbrocken und -blöcke, welche nur zum Teil Geröllform besitzen, zum Teil aber unregelmäßig-kantig erscheinen. Dieser Umstand wie hre mitunter auffällige Größe[5] und ihre Vergesellschaftung mit Blöcken und Geröllen von anderen aus der nächsten Umgebung als anstehend bekannten Felsarten (Granit, Glimmerschiefer, Quarzit Triasdolomit, Juramarmor etc.) zeigt schon, daß dieselben keinen weiteren Transport erfahren haben sondern aus unmittelbarer Nähe stammen. Und in der Tat ist es auch F. Toula und H. Mohr gelungen, einige Eozänfelsen von größerem Umfange aufzufinden, die sie für anstehend betrachten: Ersterer erwähnt von solchen Vorkommnissen einmal zwei Kalkpartien am steilen Südgehänge des Goldberges, eine kleinere tiefere, von der infolge ihres Verbrauches in einem dabei errichteten Kalkofen schon 1879 nur mehr wenig übriggeblieben war, und eine größere weiter nördlich bei einem kleinen Stadel des Fuchs-Bauers nahe der Kammhöhe. Schöner war ein ziemlich ansehnliches Kalkriff am Westgehänge des Goldberges, welches ganz nahe dem westlichen Hohlwege unweit von einer Lichtung im Walde versteckt lag. »Das anstehende Eozän«, welches H. Mohr festgestellt und auf seiner geologischen Karte ausgeschieden hat, »befindet sich in einer Meereshöhe von etwa 620 *m* vielleicht 15 bis 20 *m* über der Talsohle des Ottersbaches«, eine im Verhältnis zu den von 850 bis

---

[1] F. Toula, Über Orbitoiden und Nummuliten führende Kalke vom »Goldberg« bei Kirchberg am Wechsel, 14 p.

[2] H. Mohr, Zur Tektonik und Stratigraphie der Grauwackenzone zwischen Schneeberg und Wechsel (N.-Ö.) p. 201 ff.

[3] J. Boussac, l. c. (1912), p. 607. Boussac's Bemerkung, daß das Eozän von Kirchberg auf Gosauschichten liegt, ist natürlich eine irrtümliche.

[4] H. Mohr (l. c., p. 210) hält diese mächtigen Geröll- und Konglomeratmassen für etwas jünger als die lignitführenden Süßwassertegel (Stufe der Lignite von Pitten), die ja stellenweise im Wechsel- und Rosaliengebiete unter ihnen liegen.

F. X. Schaffer (Das Delta des norischen Flusses, Mitteil. d. geol. Ges. in Wien, II. Bd. [1909], p. 237), hat ihnen, der Deltabildung seines »norischen Flusses«, eine unter- oder mittelmiozäne Position zugeschrieben. Sie dürften wohl mit den jungtertiären Süßwasserablagerungen von Wagrein und des oberen Ennstales (Radstadt, Gröbming, Steinach etc.) ungefähr gleichen Alters sein. Vgl. auch diese Abhandlung, p. 9 [179].

[5] So finden sich nach H. Mohr (l. c., p. 207) in der kleinen Schlucht westlich vom Goldberg zwei Eozänblöcke entblößt, von denen der eine bis 2 *m* lang und 1·6 *m* hoch, der andere mehr walzenförmige sogar bis 3·5 *m* lang und 2·5 *m* hoch ist und ein Gewicht von mehr als 20 Tonnen besitzen dürfte. »Aber auch Granit und Glimmerschiefer wurden unter ganz ähnlichen Größenverhältnissen in Blockform vorgefunden.« (H. Mohr.)

888 *m* (»Am Eck«) emporreichenden losen Eozänkalkblöcken auffällig tiefe Lage, welche er durch die Annahme eines dem Ottertale entlang streichenden Bruches erklären möchte. Dieses anstehende Vorkommen umfaßt eine Partie von eozänem Glimmerschieferkonglomerat in dem den Goldberg nach Osten begrenzenden Graben und den ansehnlichen Rest (von 4·5 *m* maximaler Ausdehnung) eines gebankten, dichten, licht- bis gelblich-weißen und rötlichen Kalkes, der an dem vom Gehöfte Fankl ins Ottertal hinabführenden Fahrwege halbwegs zwischen beiden aufragt und unter 45° nach Westen einfällt.

Das Eozän des Goldberges, dessen Ablagerungsbasis nach H. Mohr (l. c., p. 203) der in der nächsten Nähe zutagetretende Porphyrgranit darstellen dürfte, gestattet die Unterscheidung folgender Gesteinstypen:

1. Sein tiefstes Niveau bildet nach H. Mohr (l. c., p. 203) ein an Glimmerschieferstücken armer Lehm, der neben diesen auch vereinzelte Brocken von Porphyrgranit, Pegmatit und Aplit führt.

2. Dann lagerte sich wohl ein reines Glimmerschiefer-Konglomerat ab, welches von H. Mohr in einigen Geröllen innerhalb der miozänen Blockablagerung und noch anstehend in dem erwähnten, den Goldberg östlich vom Fankl begrenzenden Bachriß aufgefunden worden ist, wo es auch roten hämatitreichen Lehm aufnimmt. »Der blutrote Lehm ist ersichtlich schwer durch die Menge des beigemengten Eisenglimmers.« (H. Mohr, l. c., p. 203.) »Im gleichen Niveau scheint es eine Gesteinsfazies zu geben die neben Glimmerschiefer auch Quarzit, Triasdolomit und Juramarmor als Geröllbestandmassen erkennen läßt. (Durch Gerölle im Süßwassertertiär vertreten.)« (H. Mohr, l. c., p. 202.)

3. Durch Zunahme des kalkigen Bindemittels geht das Glimmerschieferkonglomerat allmählich in einen vereinzelte Glimmerschieferbröckchen einschließenden Eozänkalk über, wie ihn H. Mohr unter den Blöcken des Süßwassertertiärs beobachtet hat.

4. Nach F. Toula (l. c., p. 126) stößt man unter diesen aber auch zuweilen — freilich recht selten — auf sandig-kalkige Stücke und — ein wenig häufiger — auf

5. breccienartige Kalksteine, die beide reich an organischen Resten zu sein pflegen, so wie es

6. die reinen und dichten Eozänkalke sind, die wir an der Geröll- und Blockkameradschaft des Süßwassertertiärs so überaus stark beteiligt sehen und durch F. Toula und H. Mohr auch in einigen aller Wahrscheinlichkeit nach anstehenden Felspartien kennen gelernt haben. Sie sind zum Teil licht- oder gelblichweiße, vorherrschend aber licht- bis dunkelrot oder braunrot gefärbte Kalkblöcke, die von Lithothamnien, Orbitoiden (Orthophragminen), Korallen- und Bryozoënresten ganz erfüllt erscheinen und nach diesen geradezu als Lithothamnien-, Orbitoidenkalke usw. angesprochen werden könnten. Häufig treten die Fossilienschälchen aus dem Rot des Gesteines durch eine bräunlichgelbe Färbung hervor und erweisen sich bei der mikroskopischen Untersuchung ihrer Dünnschliffe von Eisenerz- (besonders Limonit-)substanz infitriert, ein Erhaltungszustand, der ja bei dem Vorkommen von Hämatitspuren in der vorhin erwähnten, roten lehmigen oder konglomeratischen Basalbildung des Goldberger Eozäns kaum überrascht und uns lebhaft an die häufig ähnlich infiltrierten Versteinerungen (namentlich Foraminiferen) des eisenerzreichen Eozäns von Kressenberg [1] und des eisenschüssigen von Mattsee erinnert.

Die von uns in einigen Dünnschliffen (Nr. 38, 39, V bis IX) des braunroten Kalksteines festgestellten und die von F. Toula (zusammen mit F. Karrer) bestimmten Fossilienarten [2], welch letztere wir mit einem Sternchen (*) bezeichnen, ergeben folgende Versteinerungsliste des Kirchberger Eozäns:

---

[1] Insbesondere ist es Eisenoxydulhydrat und kieselsaures Eisenoxydul, welches die Hohlräume der Kressenberger Foraminiferen (Nummuliten, Orthophragminen etc.) ausfüllt; vgl. das Kapitel »Versteinerungszustand der Nummuliten des Kressenberges« in K. E. Schafhäutl's Monographie »Der Kressenberg«, p. 85 ff.

[2] F. Toula, l. c., p. 126 ff.

Lithothamnium torulosum Gümb.
— *nummuliticum* Gümb.
— (?) sp.
Miliolina (*Quinqueloculina*) sp. *
?*Nodosaria* sp. (oder ? *Clavulina* sp.)*
Cristellaria (*Robulina*) sp.
Textularia sp.
Globigerina bulloides d'Orb.
Discorbina sp.
Truncatulina bullata Frnzn. sp.
— sp.
Rotalia n. sp. aff. *Schroeteriana* Park. et Jon.
— sp.
Pulvinulina bimammata Gümb. sp.
— *rotula* Kfm. sp.
Operculina sp. (*O.* cf. *complanata* Defr. sp.* nach F. Karrer).
Nummulites (*Assilina*) *exponens* Sow.
Nummulina sp.
Cycloclypeus n. sp.
Orthophragmina discus Rtm. sp. var. n. *minima*.
— *Pratti* Mich. sp.
— *dispansa* Sow. sp.
— *Taramellii* Mun.-Chalm.
?*Rhabdophyllia* sp. (= ?*Calamophyllia* sp.)*
Trochoseris sp. *
Thamnastraea sp. *
?*Trochocyathus* sp. (cf. *Tr. sinuosus* Brgn. sp.)*
?*Flabellum* sp. *
?*Stylocoenia* sp. *
Astraeopora sp.
Porites sp. (?*P. nummulitica* Rss.) *
Pentacrinus sp. (cf. *P. Bronni* Hag.), Stielglieder. *
— sp. (cf. *P. Oakeshottianus* Forb.), Stielglieder. *
Cidaris sp. *duae*. Stacheln. *
?*Psammechinus* sp., Fragment mit Stachelwarze und Ambulacralporen.*
Serpula sp. *duae*. *
? cf. *Radiopora* sp. *
? *Eschara* cf. *papillosa*? Rss. *
? cf. *Lunulites* sp. *
? cf. *Cellepora* sp. *
Terebratula sp. ind. *
Pecten sp. (? cf. *P. bifidus* Desh.) *
Ostrea sp. *
— sp. (? cf. *O. subarcuata* Desh.) *

?*Mytilus* sp. *

Dentalium cf. *nitidum* Desh.

Turbo cf. *obtusalis Baudow.* *

Trochus n. sp. ? (cf. *Tr. fragilis* Desh.) *

Cerithium sp. ind. *

Fusus sp. (? *F.* cf. *subulatus* Lam.). *

Daraus verdient *Cycloclypeus nov.* spec. deshalb besonders hervorgehoben zu werden, weil diese seit dem jüngeren Tertiär im indisch-pazifischen Gebiete nicht allzuseltene Gattung im Alttertiär, und zwar besonders in dem der europäischen Mediterranregion, zu den größten Seltenheiten zu gehören scheint.

Als F. Toula (l. c., p. 135) nach Vergleichung der von ihm untersuchten Fauna des Kirchberger Eozäns mit solchen anderer alpiner Eozänvorkommnisse zu der Meinung gelangte, »daß man die Orbitoidenkalke vom Goldberg am besten als Ober-Eozän bezeichnen könnte und daß sie mit den Orbitroiden-Nummuliten-Kalken an der Basis der Ofner Mergel oder mit den oberen Etagen der Gruppe von Priabona als gleichalterig angesehen werden könnten«, gab er dabei vorsichtigerweise der Ansicht Ausdruck, es könnten selbstverständlich alle diese Vergleichungen nur als mehr oder weniger wahrscheinliche Vermutungen hingestellt werden.

Besitzt nun diese von F. Toula versuchte Altersfixierung des Goldberger Eozäns, die übrigens auch H. Mohr übernommen hat, schon deshalb keine zwingende Kraft, da er sich auf so wenig charakteristische Formen wie insbesondere die Korallen stützte und es ihm hinsichtlich der wenigen Molluskenspezies bereits auffällig war, daß sie mit den von Zittel beschriebenen Arten aus der oberen Nummulitenformation in Ungarn ganz und gar nicht übereinstimmen und nur Beziehungen mit solchen aus dem Eozän (Lutétien) des Pariser Beckens aufweisen, so vermögen wir ihm jetzt um so weniger beizupflichten, als uns in *Assilina exponens* Sow. ein stratigraphisch recht wertvolles Fossil[1] von dort bekannt geworden ist. Dasselbe beweist mit Entschiedenheit ein mitteleozänes (wohl lutezisches) Alter der fossilreichen Kalke des Goldberges, welches diese mit den Foraminiferengesteinen von Radstadt im Pongau und Wimpassing am Leithagebirge gemein haben.

Die leider fossilleeren Lehm- und Konglomeratbildungen, welche nach H. Mohr die tieferen Partien des Kirchberger Alttertiärs darstellen, mögen vielleicht dem Unter-Eozän angehören.

Die weitgehende biologische und sich auch in der benthonischen Foraminiferenfauna ausdrückende Übereinstimmung des Goldberger Eozäns mit den beiden anderen eben genannten Vorkommnissen (vgl. p. 23 [193] und die Tabelle p. 104 bis 106 [274 bis 276]) ist vornehmlich in der Ähnlichkeit ihrer faziellen Entwicklung begründet[2], die F. Toula (l. c., p. 135) treffend mit nachstehenden Worten gekennzeichnet hat: »So viel geht aus dem beschriebenen Materiale aber als so ziemlich sicher und feststehend hervor, daß wir es bei den Ablagerungen am Goldberge mit einer Seichtwasser- oder Riffbildung zu tun haben. Die häufigen Korallen und besonders die zahlreichen Lithothamnien sprechen sehr bestimmt dafür.«

Insbesondere verdient auf den Umstand hingewiesen zu werden, daß sich die meisten Eozängesteinsstücke am Goldberge analog wie jene bei Radstadt in einer miozänen Süßwasserbildung auf sekundärer Lagerstätte finden, dabei aber jedenfalls nur eine geringfügige Umlagerung (einen »kurzen Transport«) erfahren haben.

Schließlich möge noch bemerkt werden, daß man mitunter auch in den die Nordseite der »Buckligen Welt« begleitenden fluviatilen Schotterbildungen, welche dem Blocktertiär des Kirchberger Beckens

---

[1] Vgl. diese Arbeit, p. 15 u. 79 [185 u. 249].

[2] Zuerst hat C. Diener (Grundlinien der Struktur der Ostalpen [1899], p. 207, und Bau und Bild der Ostalpen etc [1903], p. 470), und nach ihm H. Mohr (Tektonik und Stratigraphie der Grauwackenzone [1910], p. 203) und L. Kober (Deckenbau der östlichen Nordalpen [1912] p. 15) auf die Ähnlichkeit des Radstädter mit dem Kirchberger, bezüglich Wimpassinger Eozän aufmerksam gemacht.

entsprechen (Unter- bis Mittelmiozän), Eozänkalkgerölle angetroffen hat. So erwähnt F. X. Schaffer[1] ihr Vorkommen an der Ostseite des Rosaliengebirges (Gebiet des Brenntenriegels und Kohlenbergbaues Brennberg) und F. Toula[2] konstatierte unter den von F. v. Hauer bei Schauerleiten und Schleinz (östlich von Pitten) gesammelten und durch ihre Wiederverwachsung an sie durchsetzenden Bruchflächen merkwürdigen Geschieben auch einige, »die mit dem Goldberger Vorkommen auf das überraschendste übereinstimmen; besonders eines der Stücke aus Schleinz läßt neben anderen undeutlichen Dingen *Orbitoides*, *Porites*, *Lithothamnium* sowie verschiedene Bryozoën unterscheiden, und kann nicht der geringste Zweifel darüber bestehen, daß es von demselben Gesteine, vielleicht sogar von derselben Lokalität herstammt«. (F. Toula.)

Hingegen erscheint es uns zweifelhaft, ob der gleichfalls von F. Toula[3] mit dem Goldberger Eozän verglichene, 70 Pfund schwere und fossilführende Kalkblock, den A. v. Morlot[4] aus der Region von Pitten als erratisch beschrieben und abgebildet hat, tatsächlich eozänen Alters ist. Denn v. Morlot bezeichnet ihn als »einen roten, alpinen Encrinitenkalk oder Marmor, wie er in der Gegend des Schneeberges anstehend vorkömmt«.

Das Eozän bei Wimpassing am Leithagebirge.

Südöstlich von Wimpassing (Vimpácz), einer am rechten Ufer der Leitha nordöstlich von Pottendorf gelegenen Ortschaft, erscheinen an der Westseite des Lebzelterberges (331 *m*) zwei kleine Lappen eines ziemlich dichten lichtgelblichen bis rötlichen Kalksteines, der 1884 von L. Roth v. Telegd gelegentlich der geologischen Kartierung des Spezialkartenblattes Kismarton (Eisenstadt)[5] aufgefunden und nach einigen Fossilresten für mesozoisch, und zwar jünger als triadisch gehalten worden ist, bis 1910 H. Mohr[6] seine durch Gesteinsbeschaffenheit und Fossilführung (Lithothamnien, Bryozoën, Orbitoiden, Nummuliten) bedingte Ähnlichkeit mit den foraminiferenreichen Kalksteinen von Kirchberg am Wechsel und somit sein eozänes Alter richtig erkannt hat. »Es wird« von H. Mohr »als völlig sicher angenommen, daß die eingehendere Untersuchung dem Wimpassinger Eozän seinen Platz knapp neben dem Kirchberger anweisen wird.«

Wie die von L. Roth v. Telegd aufgenommene geologische Spezialkarte zeigt, liegt der eine der beiden erwähnten Lappen zirka 900 *m* westlich vom Gipfelpunkt des Lebzelterberges bei einem kleinen Steinbruch nächst der Stelle »Hartl Är.« (= Hartläcker) an der Grenze eines bläulichgrauen, von Roth für paläozoisch betrachteten, von H. Vetters aber als mesozoisch sichergestellten Kalkes[7] und den daran gelagerten jungtertiären (sarmatischen oder pontischen) Sedimenten.

Die zweite Eozänpartie sieht man, schon größtenteils in ein Haufwerk von größeren und kleineren losen Blöcken aufgelöst, an beiden Seiten des Fahrweges, welcher am Nordhange des Hirschbühels von Wimpassing gegen Ostsüdosten zieht, bei einem die Inschrift »Luka u. Anna

---

[1] F. X. Schaffer, l. c., p. 235.

[2] F. Toula, l. c., p. 135.

[3] F. Toula, l. c., p. 135.

[4] A. v. Morlot, Über erratische Diluvien bei Pitten. W. Haidinger's naturw. Abhandl., Bd. IV (1851), II. Abt., p. 8, Taf. II, Fig. 1 bis 3.

[5] L. Roth v. Telegd, Umgebungen von Kismarton. Erläuterungen z. geol. Spezialk. d. Länder d. ung. Krone. Budapest 1884, p. 18 bis 19; neue Ausgabe 1905, p. 12.

[6] H. Mohr, Zur Tektonik und Stratigraphie der Grauwackenzone zwischen Schneeberg und Wechsel, p. 204.

[7] H. Vetters fand in den blauen Kalken des großen Steinbruches bei Wimpassing Stielglieder von *Encrinus liliiformis* Mill. und in den mehr geschieferten des nahen Hirschbühels solche von Pentacrinen auf, weshalb diese angeblich paläozoischen »Grauwackenkalke« des Leithagebirges ebenso wie die hochtatrischen Kalke der Kleinen Karpathen und die Hauptmasse der Semmeringkalke ein mesozoisches, und zwar triadisch—liasisches Alter besitzen. (Verhandl. d. k. k. geol. Reichs-Anst. 1911, p. 18.)

Fanta« tragenden Kreuzstocke aus den jungtertiären (sarmatisch-pontischen) Ablagerungen der Umgebung zutage treten.

Wie H. Mohr bemerkt hat, ist namentlich bei diesem näher zu Wimpassing gelegenen Vorkommen die petrographische Ähnlichkeit mit dem hellen Lithothamnienkalk beim Fankl auf dem Kirchberger Goldberg eine so verblüffende, »daß es fast unmöglich ist, sie makroskopisch auseinander zu halten«.

»Und völlig analog mit letzterem« (dem Kirchberger Eozän) »transgrediert der Wimpassinger Eozänkalk über die Semmeringdecken des Leithagebirges und führt Brocken von Juramarmor, Pentakrinitenkalkschiefer, Triasdolomit und Quarzit.« (H. Mohr.)

Die von uns durchmusterten Dünnschliffe Nr. 36, 37 und I bis IV sind aus einem graugelben durch Quarzkörnchen und weißliche oder bräunliche Glimmerschüppchen verunreinigten Kalkstein angefertigt worden, den vor ein paar Jahren Fräulein Emilie Anders aus Wien bei dem erwähnten Kreuzstocke für Dr. R. J. Schubert aufgesammelt hat. Seine rauhe, gelbliche Verwitterungsoberfläche zeigt neben einigen Korallen- und Molluskenresten zahlreiche kleine Assilinenschnitte (Durchmesser bis zu 5 *mm*).

Die von uns ermittelte und nach L. v. Roth's Angaben (Fossilnamen mit *) ergänzte Versteinerungsliste des Wimpassinger Eozäns lautet:

Lithothamnium torulosum Gümb.
— *nummuliticum* Gümb.
— (?) sp.
Rheophax sp.
Haplophragmium sp.
Alveolina sp. (? *A. oblonga d'Orb.*).
Miliola sp.
Miliolina (*Triloculina*) sp.
— (*Quinqueloculina*) sp.
Textularia sp.
Discorbina sp.
Truncatulina bullata Frnzn. sp.
Rotalia n. sp. aff. *Schroeteriana* Park. et Jon.
— sp.
Pulvinulina bimammata Gümb. sp.
— *rotula* Kfm. sp.
— sp.
Operculina sp.
Nummulites (*Assilina*) *exponens* Sow.
Orthophragmina discus Rtm. sp. var. n. *minima*.
— *Pratti* Mich. sp.
— sp. (von L. v. Roth vermutlich als *Orbitolites* bezeichnet).
Astrocoenia sp.*
Astraeopora sp.
Echinodermenreste (Crinoiden-Stielglieder).*
Bryozoën-Stämmchen.
Brachiopoden-Rest (Gefäßeindruck).*
Ostrea sp.*
Dentalium cf. *nitidum* Desh.
Gastropoden-Reste.

Nach dem reichlichen Auftreten der Assilinen (wohl *A. exponens* Sow.) werden wir das Eozän von Wimpassing so wie das am Kirchberger Goldberg als Mittel-Eozän, und zwar höchstwahrscheinlich als Lutétien betrachten können.

Die aus unserer Tabelle (p. 104 bis 106) [p. 274 bis 276] ersichtliche große Übereinstimmung, welche zwischen den Eozänvorkommen von Wimpassing, Kirchberg und Radstadt besteht, ist, abgesehen von ihrer Gleichalterigkeit, namentlich in der Analogie ihrer Ablagerungsbedingungen begründet: Wie an den beiden letztgenannten Örtlichkeiten handelt es sich auch bei Wimpassing um den Absatz eines Riffbildungen von Lithothamnien und Korallen bespülenden und an benthonischen Foraminiferen reichen Litoralmeeres.

Paläogeographische Verhältnisse.

Vergleichbar jenem seichten oberkretazischen Meere, welches sich an der Nordseite der Alpen von Südostfrankreich in die Gegend von Wien hinzog, um sich hier in die pannonische See zu öffnen, und welches einen großen Teil unserer nordalpinen Flyschbildungen sedimentierte und südwärts in die nördlichen Kalkalpen Buchten und Kanäle entsandte, in denen die Gosauschichten (Angoumien bis Campanien) zur Ablagerung kamen, sehen wir auch nach der darauf im Maestrichtien erfolgten Überflutung der ganzen Kalkzone [1] während des Alttertiärs einen langgestreckten Meeresarm die Südküste des mitteleuropäischen Festlandes und die Nordseite der damaligen Alpen bespülen. Da dieser sowohl im südöstlichen Frankreich mit dem Mittelmeere als andrerseits in dem etwa durch die heutige Donau bezeichneten Raume zwischen Alpen und Karpathen mit dem pannonischen Becken und durch dieses auch mit dem südlichen Mediterranmeere in Verbindung stand, müssen die Alpen — wenigstens ihre zentraleren Teile — damals aus diesen Gewässern als eine große Insel aufgeragt haben. [2]

Viel beschränkter als die Gosauschichten sind die paläogenen Ablagerungen, welche von der »helvetischen« Flyschzone [3] aus buchtenartig in die nördlichen Kalkalpen eingegriffen haben. So bilden dieselben den unter der Bezeichnung der »Häringer« und »Reiter Schichten« bekannten Komplex, der sich von Rattenberg über Kufstein nach Reit im Winkel bei Kössen erstreckt und, aus brackischen, limnischen, durch Braunkohlenflötze ausgezeichneten und endlich aus rein marinen Sedimenten bestehend, hauptsächlich dem Unter-Oligozän (Ligurien) angehört. [4]

Ein zweites derartiges Vorkommen stellen die marinen Eozänbildungen dar, welche aus der Region von Reichenhall und von der Nordseite des Untersberges zwischen diesem und dem Lattengebirge bis zum Hallthurmpaß in die Kalkzone eingedrungen sind. Bestehen dieselben auch überwiegend aus obereozänen Bänken (Bartonien, respektive Priabonien), so entsprechen ihre tieferen Lagen doch höchst wahrscheinlich noch dem Mittel-Eozän (Lutétien). [5]

---

[1] Vgl. auch die Fußnote [1] auf p. 34 [204] dieser Abhandlung.

[2] Vgl. F. Koßmat, Paläogeographie (Sammlung Göschen, 1908), p. 108, und die Europa zur Lutétienzeit darstellende Kartenskizze in A. de Lapparent, Traité de Géologie, 4e édit. (1900), p. 1451, Fig. 698.

[3] Resp. = helveto-lepontinische Zone im Sinne F. F. Hahn's (Grundzüge des Baues der nördlichen Kalkalpen zwischen Inn und Enns. Mitt. d. Geol. Ges. in Wien, Bd. VI [1913], p. 239).

[4] Vgl. C. Diener, Bau und Bild der Ostalpen und des Karstgebietes, p. 361 bis 362, und besonders J. Boussac, Études stratigraphiques sur le Nummulitique alpin (1912), p. 588 bis 606, wo auch die einschlägige Literatur (J. Dreger etc.) über die Reiter und Häringer Schichten besprochen wird. Manche Forscher, wie M. Schlosser (Zur Geologie des Unterinntales, Jahrb. d. k. k. Geol. R.-A., Bd. LIX [1909], p. 547 ff.), sind geneigt, den tieferen Teil der Häringer Schichten noch zum Ober-Eozän (Priabonien) zu rechnen.

[5] Vgl. C. Diener, l. c., p. 362. Abweichend von O. M. Reis (Erläuterungen zu der geologischen Karte der Voralpenzone zwischen Bergen und Teisendorf. I. Stratigraphischer Teil. Geognost. Jahresh., VIII. Jahrg. [1895], p. 155) und K. Deninger (Beiträge zur Kenntnis der Molluskenfauna der Tertiärbildungen von Reit i. W. und Reichenhall. Geognost. Jahresh., XIV. Jahrg. [1901], p. 222—223), welche das Nummuliticum des Reichenhaller Gebietes den Reiter Schichten gleich-

Wie aus den klaren Darlegungen F. F. Hahn's über den Bau der nördlichen Kalkalpen hervorgeht, waren diesen bereits die wesentlichsten tektonischen Züge zur Zeit der Ablagerung der ebenerwähnten Paläogenbildungen aufgeprägt, so daß diese höchstens von mehr untergeordneten, späteren Bewegungsvorgängen betroffen sein können. Das vorwaltend auf der »bajuvarischen« Kalkalpenzone aufruhende Alttertiär des Unterinntales und von Reit im Winkel »ist nicht mehr normal dem Faltenwurf des Mesozoikums eingegliedert, sondern quer über reife austroalpine Sättel und Mulden abgelagert. Es muß hierzu ein kräftig ausgebildetes Querbruchsystem schon vorhanden gewesen sein, nachdem die alttertiäre Sedimentation längs recht scharf umgrenzter, querer Einbruchsstraßen erfolgte (M. Schlosser, Unterinntal, Jahrb. d. k. k. Geol. Reichsanstalt 1909, p. 59); die zahlreichen Landpflanzen- und Säugetierreste weisen ja dort auf nahe Uferränder hin«.[1]

Das in der Kufsteiner Region meist ungehindert erfolgende Verfließen der hier außer zum »Bajuvaricum« zum Teil auch zum »Tirolicum« gehörigen Alttertiärbildungen (Buchten) von Reit im Winkel und des Unterinntales, welch letzteres uns so deutlich den Zuleitungskanal für die marinen Sedimente des Tiroler Paläogens vor Augen treten läßt, zeigt, daß die »tirolische« Bewegung, die die Überschiebung der »tirolischen« Kalkalpen über die nordwärts benachbarte »bajuvarische« Voralpenzone in südnördlicher Richtung bewirkt hat, hauptsächlich paleozänen — aber nur zu einem geringen Teile nacheozänen — Alters ist.[2]

Daß ferner die nordwärts gerichtete Förderung der »juvavischen« (Reiteralp- oder Hallstätter) Decke auf den »tirolischen« Sockel vorgosauisch erfolgt ist, geht klar und deutlich aus dem Auftreten der Gosaukreide im Berchtesgadener Lande und Salzkammergute und des Eozäns in der Reichenhaller Bucht hervor, welche die juvavische Überschiebungsfläche mit gleichbleibender fazieller Entwicklung überschreiten und demnach die beiden tektonischen Serien miteinander verschweißen.[3]

Die hiermit skizzierten Verhältnisse müssen natürlich auch in jener Region der Kalkalpen geherrscht haben, welche in ihrer ganzen Breite, vom Meere der Flyschzone aus, der Eozänfjord durchzogen haben wird, durch dessen Annahme uns das Vorkommen der neritischen, foraminiferenreichen Lutétiengesteine bei Radstadt im Pongau am leichtesten verständlich erscheint.[4]

---

stellen und als Unter-Oligozän betrachten, ist J. Boussac (l. c., p. 575 bis 588) für sein ausschließlich obereozänes (Priabonien-) Alter eingetreten. Noch weiter gehend, hat sich R. J. Schubert (Über mitteleozäne Nummuliten aus dem mährischen und niederösterreichischen Flysch. Verhandl. d. k. k. Geol. R.-A. 1913, p. 128) nach Nummulitenfunden E. Fugger's bei Reichenhall (Plainer Schloßberg, Preischen, Groß-Gmain) mit Entschiedenheit für »die Vertretung mitteleozäner Horizonte in diesem angeblichen Bartonienkomplex« ausgesprochen und demnach wieder auf eine seinerzeit von Th. Fuchs (Versteinerungen aus den Eozänbildungen von Reichenhall. Verhandl. d. k. k. Geol. R.-A. 1874, p. 132) verfochtene Meinung zurückgegriffen. In ähnlichem Sinne deutet auch Cl. Lebling (Geologische Beschreibung des Lattengebirges im Berchtesgadener Land, Geognost. Jahresh., XXIV. Jahrg. [1911], p. 65) den unter den offenbar obereozänen, hellgrauen Letten (»Stockletten«) am Paß von Hallthurm liegenden, nummulitenführenden Korallenkalk als Mittel-Eozän.

1 Vgl. F. F. Hahn, l. c., p. 263.

2 Vgl. F. F. Hahn, l. c., p. 268 bis 269.

3 Vgl. F. F. Hahn, l. c., p. 398, 401, 408, 420.

Auf juvavischem (»Hallstätter«) Untergrund ist u. a. das von H. Krauß (Geologische Aufnahme des Gebietes zwischen Reichenhall und Melleck. Geognost. Jahresh., XXVI. Jahrg. [1913], p. 127) bei Punkt 643 in der Nähe des Kugelbachbauers (WSW von Reichenhall) entdeckte polygene Konglomerat abgesetzt, welches vollkommen mit der von E. Fugger (Die Salzburger Ebene und der Untersberg. Jahrb. d. k. k. Geol. R.-A., Bd. LVII [1907], p. 467) aus dem Kühlbachgraben im Untersberger Vorland beschriebenen und über Nierentaler Mergeln liegenden »Meinzinger Breccie« übereinstimmt. Diese besteht aus scharfkantigen Untersberger Plateaukalkstücken, abgerundeten, kleinen Quarzkörnern, Trümmern von Werfener Schiefer, Nummuliten und anderen Foraminiferen, Korallen und Inoceramenfragmenten. Da letztere hier entschieden auf sekundärer Lagerstätte auftreten, dokumentiert sich darin, wie E. Spengler betont hat, das Vorhandensein einer Erosionsperiode zwischen den oberkretazischen Nierentaler Schichten (Maestrichtien) und dieser wahrscheinlich dem Mittel-Eozän angehörigen Eozänablagerung. Vgl. F. F. Hahn, l. c., p. 334 bis 335, und E. Spengler, Untersuchungen über die tektonische Stellung der Gosauschichten. II. Teil. Das Becken von Gosau. Sitzungsber. d. kaiserl. Akad. d. Wiss. in Wien, math.-naturw. Kl., Bd. CXXIII, Abt. I, p. 24.

4 Der Umstand, daß im Alttertiär der größte Teil der Kalkalpen vom Meere frei war, hat G. Götzinger (Zur Frage des Alters der Oberflächenformen der östlichen Kalkhochalpen [1913], p. 56) zur Annahme seiner subaërilen Abtragung schon

Um bis hieher in den Ablagerungsraum der Mandlingkette vorzudringen, mußte der Fjord nach Durchquerung der juvavischen (Hallstätter) Zone noch das sich nach F. F. Hahn's Vorstellung südwärts daranschließende Gebiet des Werfen—St. Martiner Schuppenlandes durchsetzt haben, das seiner Triasfazies nach dem primären tirolischen Südrande entspricht und mit seinem südlichsten Teile, eben jenem mit dem Eozän verknüpften Mandlingzug, sich dem weiter gegen Süden folgenden Mesozoikum der Radstädter Tauern am meisten nähert. Je nachdem die Schuppenbildung der Werfen—St. Martiner Zone und somit auch die Aufrichtung der Mandlingkette in postgosauisch-präeozäner oder in posteozäner Zeit stattgefunden hat, wäre das Radstädter Lutétien von derselben noch nicht betroffen oder aber davon bereits tangiert gewesen.[1] Die Aufarbeitung dieser Eozänablagerung zu Geröllen eines dem Ennstale folgenden jüngeren Schotters möchten wir ins Miozän, und zwar in die Mediterranzeit (Ablagerungsperiode der Lignite von Pitten) verlegen.[2]

F. Wähner hat zuerst (1894) das Radstätter Eozän mit dem Meer an der Nordseite der Alpen in Zusammenhang gebracht, indem er sagt:[3] »Daß noch das Meer der älteren Tertiärzeit von N her in das Gebiet der Zentralalpen gereicht hat, beweist die Entdeckung eines Nummulitengesteins bei Radstadt durch Gümbel.« Und in übereinstimmendem Sinne hat sich später C. Diener mit folgenden Worten geäußert: »In die von Gosaubildungen erfüllten Becken und Fjorde der Nördlichen Kalkzone drang das alttertiäre Meer nicht ein. An einer Stelle aber, bei Radstadt, muß es aus der Flyschregion quer durch die ganze Kalkzone bis auf den Rand der Zentralalpen übergegriffen haben, der von den oberkretazischen Sedimenten nirgends erreicht wird.«[4] »Auf welchem Wege die Verbindung des Radstätter Beckens mit dem alttertiären Meere am Nordrande der Kalkzone sich vollzog, ist durchaus unklar.«[5]

Obwohl auch heute noch diese Frage mangels eines genügenden Beobachtungsmaterials nur schwierig und bloß vermutungsweise beantwortbar erscheint, wollen wir es doch versuchen, sie auf Grund der wenigen vorhandenen Hinweise einer Klärung näherzuführen.

Im Jahre 1832 hat A. Boué[6] an drei Stellen des Beckens von Gosau das Auftreten von Nummuliten verzeichnet, das allerdings später (1854), und zwar zum Teile mit vollem Recht, von A. E. Reuss[7] geleugnet worden ist, der hier an keinem Punkte solche Foraminiferenschälchen aufzufinden vermocht hat.

Das erste derartige Vorkommen — »peut être même des Nummulites« — gibt A. Boué in den roten Konglomeraten (bezüglich den ihnen eingeschobenen Mergeln) der oberen Partie des Kreutzgrabens (W vom Igelsbach = Edelbach) an. Da dieselben aber hier die Basalbildung der Gosauformation darstellen, muß Boué's Angabe auf einer Täuschung, vielleicht einer Verkennung anderer scheibenförmiger Foraminiferengehäuse (Orbitoiden?) beruhen.

---

zur damaligen Zeit geführt. Aus dem Vorkommen der Alttertiärgesteine bei Radstadt auf eine bereits damals angedeutete Längstalstrecke des oberen Ennsgebietes zu schließen, wie es G. Götzinger tut, scheint uns kaum begründbar zu sein.

1 Für die letztere Eventualität könnte vielleicht ein Analogieschluß nach der von H. Mohr als anstehend betrachteten und mit 45° nach W fallenden, also aufgerichteten Eozänpartie am Kirchberger Goldberg sprechen (vgl. diese Abhandlung, p. 25 [195]).

2 Vgl. F. Trauth, Vorläufige Mitteilung über den geologischen Bau der Südseite der Salzburger Kalkalpen (1916), pag. 4, und Derselbe, Über die geologischen Verhältnisse an der Südseite der Salzburger Kalkalpen (1916), p. 84—85.

3 F. Wähner, Geologische Bilder von der Salzach, p. 68.

4 C. Diener, l. c. (1903), p. 603; vgl. über diese »Eozäntransgression« auch F. Frech, Über den Gebirgsbau der Alpen (1908), p. 225.

5 C. Diener, l. c., p. 382.

6 A. Boué, Description de divers gisemens intéressans de fossiles, dans les Alpes autrichiennes. Mém. géolog. et paléont. Tome I, Paris 1832, p. 198, 201, 204.

7 A. E. Reuss, Beiträge zur Charakteristik der Kreideschichten in den Ostalpen. Denkschr. d. kaiserl. Akad. d. Wiss. in Wien, math.-naturw. Kl., Bd. VII, p. 2.

Unweit des Schwarzkogels (dieser bei Modereck, W vom Brillgraben und SO von Gosau) erwähnt er neben verschiedenen anderen kalkigen und mergelig-sandigen Gesteinen auch ein Konglomerat mit rotem Alpenkalk und »Nummulitenkalk«. Auch dabei dürfte es sich wahrscheinlich um einen Irrtum handeln, nachdem alle späteren Beobachtungen in dieser Region — dem Bereiche des Katzhofgrabens und Löckenmoosberges — übereinstimmend und ausschließlich nur Gosauschichten von der eben angedeuteten petrographischen Verschiedenartigkeit festgestellt haben.

Hingegen scheint uns der von Reuss auch gegen die Existenz des dritten von Boué angeführten Vorkommens erhobene Zweifel nicht ganz berechtigt und die Möglichkeit keineswegs ausgeschlossen, daß hier, mögen auch die besten gegenwärtigen Kenner des Gosaubeckens, J. Felix und E. Spengler, daselbst vergeblich auf Nummuliten gefahndet haben[1], vielleicht doch einmal ein solcher Fund glücken könnte. Diese dritte Stelle ist eine steile Schlucht an dem etwas nördlich von der Zwieselalpe gelegenen Hennarkogel (nach E. Spengler ist wohl darunter einer der Höllgräben zu verstehen[2]), wo Boué außer kalkigen Mergeln, grauen mergeligen Sanden und Agglomeraten »feine Kalke mit Zerreibseln von Korallen und mit Nummuliten« gesehen haben will.

In der jüngsten Zeit hat auch E. Spengler[3] die Eventualität in Erwägung gezogen, es könnten gewisse im Becken von Gosau — bei der Bräuninghütte nördlich von der Zwieselalpe — auf die Nierentaler Mergel folgende, vorwiegend aus Quarzgeröllen bestehende und kalkig zementierte Konglomeratschichten[4] dem Reichenhaller Eozän entsprechen, und dafür außer dem von Boué erwähnten Nummulitenvorkommen in der Steilschlucht am Hennarkogel noch zwei weitere Argumente geltend gemacht, die überaus große (zirka 500 *m* betragende) Stärke der wohl nur dem Maestrichtien, ja vielleicht bloß dessen oberer Abteilung entsprechenden Nierentaler Mergel, die es unwahrscheinlich mache, daß die darüber liegenden, selbst über 100 *m* mächtigen Konglomerate gleichfalls noch oberkretazisch seien, und ferner die Ähnlichkeit, welche das Konglomeratgestein durch das Auftreten von Lithothamnien mit dem südbayerischen »Granitmarmor« erlangt.

»Trotzdem überwiegen« für E. Spengler »die Gründe, welche« ihn »veranlassen, die Schichten für älter zu halten als das Mittel- und Obereozän von Reichenhall«.

Sind wir nun auch von der Stichhaltigkeit des ersten seiner Gründe, daß nämlich die besagten Lithothamnien nicht mit den den Granitmarmor zusammensetzenden Formen übereinstimmen, sondern sich eher an das aus dem Pariser Danien bekannt gewordene *Lithothamnium parisiense* Gümb. anschließen, nicht recht überzeugt[5], so verdienen doch die beiden anderen Argumente Spengler's jedenfalls Berücksichtigung: »Da bei Reichenhall Nummuliten in so reichem Maße vorhanden sind, wäre das Fehlen oder zum mindesten die außerordentliche Seltenheit dieser Tiere hier sehr auffallend. Für die wichtigste Tatsache halte ich die Erscheinung, daß das Eozän des Reichenhaller Beckens transgressiv auftritt, während dies bei unserer Schichtgruppe nicht der Fall ist.« (Spengler). Denn hier im Gosauer Gebiete lagern jene Konglomerate den Nierentaler Schichten nicht nur völlig konkordant auf, sie sind vielmehr auch an der Grenze mit ihnen durch Wechsellagerung innig verbunden.

Aus dem gänzlichen Fehlen von Gosaugesteinsgeröllen in diesen Konglomeraten und der gegen oben hin eher zu- als abnehmenden Geröllgröße folgert E. Spengler, daß dieselben keiner erneuten Transgression, sondern einem Seichterwerden des Meeres entsprechen. »Diese Regressionsphase wird dadurch eingeleitet, daß sich zunächst die Zone der Pinzgauer Phyllite und der Werfener Schiefer

---

[1] Vgl. E. Spengler, l. c., p. 23.

[2] Vgl. E. Spengler, l. c., p. 22. Entweder der »erste« oder »zweite Höllgraben«, die sich nach der vom Deutschen und Österreichischen Alpenverein herausgegebenen »Karte der Dachsteingruppe« (1915) an der Ostseite der Zwieselalmhöhe (= Hühner- oder Hennarkogel, 1585 *m*) zu dem dem Vorderen Gosausee entströmenden Gosaubache hinabziehen.

[3] E. Spengler, l. c., p. 21 bis 25.

[4] Sie enthalten auch Gerölle von Pinzgauer Phylliten und Werfener Schiefern und -Quarziten, aber nur sehr selten solche von Triaskalk.

[5] Vgl. diese Untersuchung, p. 48 bis 49 [218 bis 219].

südlich der Kalkalpen aus dem Meere« (der Maestrichtienzeit) »erhob und dem seicht gewordenen Meere im Gebiete der Kalkalpen Gerölle zukommen ließ, während die Kalkalpen selbst noch unter Wasser lagen. Wir haben hier wohl die außerordentlich weit verbreitete Regressionsphase nach Abschluß der Kreide vor uns, welche E. Sueß beschreibt; und zwar ist dies der einzige Punkt der Kalkalpen, wo sich die Ablagerungen dieser Zeit erhalten haben.[1] Sonst sind sie überall in der unmittelbar darauffolgenden Festlandsperiode der Denudation verfallen. Nach den Lithothamnien gehören die Konglomerate dem Danien, vielleicht auch dem Paleozän oder Unter-Eozän an; sie sind jedenfalls nicht mit dem Reichenhaller Eozän, sondern mit der Lücke zwischen den Nierentaler Schichten und dem Eozän des Berchtesgadener Gebietes zu identifizieren.« (E. Spengler.)

Daß aber in der nächsten Umgebung des Gosauer Beckens vielleicht auch Mittel-Eozän (Lutétien—Auversien) vorhanden ist, darauf könnten ein paar mit der Fundortsangabe »Abtenau« versehene, graugefärbte und kalkige Exemplare von *Nummulites perforatus* de Montf. hinweisen, welche 1852 von Exzellenz Vizepräsidenten R. v. Hauer durch das damalige k. k. Hofmineralienkabinett erworben worden und jetzt in der paläontologischen Sammlung (Foraminiferenkollektion) des k. k. naturhistorischen Hofmuseums (Acq. Nr. 1852, I. 1067) aufbewahrt sind. Bedauerlicherweise ist dieses Nummulitenvorkommen durch keine späteren geologischen Feldbeobachtungen in der Abtenauer Region gesichert und bestätigt worden, weshalb allerdings die Möglichkeit, es könnte sich dabei doch etwa um eine Fundortsverwechslung handeln, nicht völlig ausgeschlossen erscheint.[2]

Viel wahrscheinlicher ist hingegen dieser Verdacht hinsichtlich einiger zusammen mit den erwähnten Nummuliten von R. v. Hauer seitens des Hofmineralienkabinetts übernommener und den gleichen Fundortsvermerk (»Abtenau«) zeigender Gehäuse von *Orthophragmina Pratti* Mich. sp. (Acq. Nr. 1852, I. 1067), da sie denselben braunen, limonitisch-vererzten Erhaltungszustand aufweisen, den man häufig bei den Orthophragminen aus den Eisenerzlagern von Kressenberg in Bayern und zuweilen auch bei denen von Mattsee in Salzburg beobachtet. Kann nun wohl auch die Möglichkeit eines Vorkommens derartiger Fossilien im Abtenauer Gebiete nicht ohneweiters in Abrede gestellt werden, so möchten wir hier doch aus dem besagten Grunde die Vermutung für näher liegend halten, daß jene Orthophragminen einmal von Bergleuten oder Petrefaktensammlern aus Südbayern oder Mattsee nach Abtenau gebracht und dann von hier in den Besitz des Geheimen Rates v. Hauer gelangt sind.[3]

Mag man auch den hiermit auseinandergesetzten Gründen, welche für das Vorhandensein von Eozän im Bereiche des Oberkreidebeckens von Gosau-Abtenau sprechen — dem von Boué erwähnten Nummulitenfund am Hennarkogel nördlich der Zwieselalpe, den Mitteilungen Spengler's über die hier im Hangenden der Nierentaler Mergel auftretenden Konglomerate und den im Hofmuseum mit der

---

[1] Nachdem die Transgression des Oberkreide(Gosau)meeres im obersten Turon (Angoumien), im Coniacien, Santonien und unteren Campanien nur zur Bildung relativ beschränkter Fjorde und Becken im Bereiche der nördlichen Kalkalpen geführt hatte, erweiterten sich diese im oberen Campanien durch die nun verstärkt einsetzende positive Bewegung der Strandlinie, die hierauf in Maestrichtien höchstwahrscheinlich die völlige Überflutung der Kalkalpen oder sogar eines noch größeren Gebietes durch ein ziemlich tiefes Meer bewirkte. Dafür spricht die überraschend gleichartige Ausbildung der dieser Stufe entsprechenden, teils als Nierentaler Schichten (Flysch- und Kalkzone), teils als Couches rouges (lepontinische Region), Seewenmergel (helvetische Region) und sogar als Scaglia (Südalpen) bezeichneten Sedimente, die sich nach ihrer lithologischen Beschaffenheit und dem ungeheuren Reichtum an Globigerinen- und Textularienschälchen am besten mit dem Globigerinenschlamm der jetzigen Meere vergleichen lassen. Vgl. E. Spengler, l. c., p. 50 bis 56.

Im Danien oder Paleozän tritt hierauf die obenerwähnte Regressionsphase ein, der sich dann wieder als positive Bewegung — freilich von einigen regressiven Schwankungen unterbrochen — die bucht- oder fjordartige Ingression der Kalkalpen durch das Meer des Mittel-Eozäns bis Unter-Oligozäns anschließt.

[2] Vgl. diese Abhandlung p. 84 [254]. Leider ist auch dem gründlichen Kenner des Salzburger Landes Herrn Professor E. Fugger, wie er mir auf eine Anfrage mitzuteilen die Güte hatte, bei keinem seiner geologischen Streifzüge ins Abtenauer Gebiet ein Eozänfossil untergekommen.

[3] Vgl. diese Abhandlung p. 90 [260].

Fundortsangabe »Abtenau« aufbewahrten Gehäusen von *Nummulites perforatus* — keine absolut zwingende Beweiskraft zuerkennen, so verleihen sie uns immerhin ein gewisses Recht zu der Annahme, daß das Eozänmeer über diese Region in einem Fjorde gegen Radstadt vorgedrungen sei.

Wie wir uns die Verbindung des Radstädter Lutétien mit dem Gosau-Abtenauer Becken vorzustellen hätten, ob etwa über St. Martin i. Lammer und Eben oder weiter östlich, etwa von der Zwieselalpe gegen Süden hin, ist natürlich gänzlich ungewiß. Und ebensowenig vermögen wir uns eine konkrete Vorstellung darüber zu bilden, auf welchem Wege die vermutliche Eozänregion des Gosauer Beckens mit der Flyschsee im Norden in Zusammenhang gestanden habe. Wahrscheinlich öffnete sich der Fjord in dieses Meer, dessen Ausdehnung an der Nordseite unserer Kalkalpen zur Lutétienzeit durch die in fossilreicher Fazies entwickelten Ablagerungen bei Sonthofen (Bolgen, Grünten), Tölz, Neubeuern am Inn (»Granitmarmor« von Sinning etc.), beiderseits des bayerischen Trauntales (»Kressenberger Schichten« [1]), am Heuberg ostnordöstlich von Salzburg (»Hochstein«) [2], von St. Pankraz am Haunsberg (NNW von Salzburg), im Teufelsgraben bei Seeham (am Westufer des Trumersees), bei Mattsee (Wartstein, Schloßberg, Ramoos), im Gschliefgraben und bei Oberweis (Gütlbauer) nächst Gmunden und am Waschberg bei Stockerau (Michelberg, Praunsberg etc.) bezeichnet wird [3], zwischen dem Salzachtal und dem Gschliefgraben, und zwar vielleicht in der Nähe des Mondsees, was ungefähr der kürzesten Entfernung des Radstädter Eozäns von der Flyschzone und daher der geringsten Länge eines bis dahin in die Kalkalpen eindringenden Fjordes entsprechen würde. [4] Doch ist dies natürlicherweise bloß eine Vermutung, die leider der stützenden Beobachtungstatsachen entbehrt.

Das nach H. Mohr primär auf Porphyrgranit [5] abgelagerte Lutétien des Goldberges bei Kirchberg am Wechsel scheint uns in einer ziemlich seichten Bucht gebildet zu sein, welche das pannonische Meeresbecken über das Leithagebirge hin gegen Südwesten entsandte. Letzteres mag darin als eine Untiefe oder niedere Insel aufgeragt haben, wofür die an Korallen und Lithothamnien reichen Eozänkalke von Wimpassing sprechen.

Soweit eine lithologische und faunistische Verwandtschaft zwischen den Mitteleozän-Vorkommen von Radstadt, Kirchberg und Wimpassing mit jenem des Krappfeldes (Guttaring) in Kärnten besteht, läßt sie sich durch deren offenbar recht ähnliche Ablagerungsbedingungen — in flachen, in die alpine Insel von dem sie umgebenden Lutétienmeere eindringenden Buchten — und ihre Gleichalterigkeit hinlänglich erklären. Eine direkte Meeresverbindung zwischen denselben ist nach unserer Meinung kaum anzunehmen. [6]

---

[1] Diese zuerst von M. v. Flurl in die geologische Literatur eingeführte Bezeichnung, unter welcher man die fossilreichen und zum Teil eisenschüssigen Eozänschichten (nach J. Boussac ausschließlich Lutétien) im Gebiete der bayerischen Traun versteht, stammt von dem Toneisensteinbergbau am »Kressenberg«, einem zwischen den Orten Hammer und Neukirchen gelegenen, nordwestlichen Vorhügel des Teisenberges östlich von Siegsdorf. Die ergiebigsten Fossilfundstellen dieser Region befinden sich bei Maximilianhütte, Bergen, Adelholzen, Eisenärzt, Siegsdorf, Wollsberg, Hammer, Neukirchen und Teisendorf Vgl. K. E. Schafhäutl, Südbayerns Lethaea geognostica. Der Kressenberg, p. 7.

[2] Hingegen gehören die von E. Fugger und K. Kastner bei Alberstatt am Colomannsberg (nordwestlich von Mondsee) als Glazialfindlinge entdeckten, aber wahrscheinlich in der Nähe anstehenden Nummulitengesteine dem Bartonien an. Vgl. E. Fugger, Das Salzburger Vorland. Jahrb. d. k. k. Geol. Reichs-A., Bd. XLIX (1899), p. 348.

[3] Vgl. über alle diese Lutétienvorkommnisse besonders J. Boussac, Études stratigraphiques sur le Nummulitique alpin, ferner E. Fugger, l. c., und Derselbe, Die oberösterreichischen Voralpen zwischen Irrsee und Traunsee. Jahrb. d. k. k. Geol. Reichs-A., Bd. LIII (1903), p. 339 u. 344 bis 345.

[4] Ziemlich ähnlich dürfen wir uns den Verlauf der Gosaubucht zur Zeit des oberen Campanien vorstellen, welche damals nach E. Spengler's interessanten Darlegungen (l. c., p. 55) das Gosaugebiet von Gosau-Abtenau um die Westseite der Gamsfeldgruppe mit dem Gosaubecken am Wolfgangsee verband und sich hierauf frei in das Flyschmeer öffnete.

[5] Dieser sogenannte »Eselsberggranit« bildet den Kern der von H. Mohr (l. c.) geschilderten »zentralalpinen (lepontinischen) Semmeringdecken«, welche hier nach L. Kober (Der Deckenbau der östlichen Nordalpen [1912], p. 15) als ein voreozänes Fenster aus der darüber liegenden unteren ostalpinen Decke zutage treten.

[6] An eine solche denkt hingegen L. Kober, wenn er sagt (l. c., p. 15): »Der Eozänstrand verlief von den Kleinen Karpathen über das Leithagebirge gegen den Wechsel, von hier gegen Westen; das offene Meer lag im Süden in Kärnten.«

Nachdem bereits zur Zeit der Oberkreide (Obersenon) die See — vermutlich aus Südosten — in die Region des unteren Gurktales eingedrungen war und hier ihre Sedimente in gosauartiger Fazies abgelagert hatte, folgte auf eine untereozäne Trockenlegung des Gebietes während des Lutétiens von Südosten und Süden her eine neuerliche Ingression des pannonisch-dinarischen Meeres, das Geröllspuren in einem miozänen Strandkonglomerat bei Leutschach am Bosruckgebirge (NW von Marburg)[1] und ausgedehntere, diskordant auf Oberkreide und krystallinem Grundgebirge abgesetzte Schichten (besonders = oberes Lutétien nach J. Boussac) bei Guttaring in Kärnten hinterlassen hat.[2]

Zu einer wesentlich anderen als der sich zum Teil älteren Vorstellungen anschließenden hier vertretenen Anschauung über die Stellung der eben besprochenen Alttertiärvorkommen im alpinen Gebirgsbaue und ihre paläogeographische Bedeutung gelangen die auf dem Standpunkte der Deckentheorie stehenden Untersuchungen E. Haug's, J. Boussac's und L. Kober's, wie die folgende Darlegung erkennen läßt.

In Haug's zwar geistvoller, aber mit den neuesten im Berchtesgadener Lande und Salzkammergute von bayerischen uud österreichischen Geologen angestellten Detailforschungen in vielfachem Widerspruche befindlicher Studie über den Deckenbau der nördlichen Kalkalpen[3], der nach Analogie mit den großen westalpinen Deckenbewegungen in die Tertiärzeit verlegt wird, erhält die Ansicht Ausdruck, daß sich die nach Süden unter die Kalkalpen hinabsenkende Flyschzone in den zum Teil »eozänen« Kalkphylliten (»schistes lustrés«) der Hohen Tauern fortsetze und daß sich dann weiter südwärts an diese der Ablagerungsraum der zur bajuvarischen Kalkalpendecke (B) gehörigen Eozängesteine von Reichenhall und Radstadt angeschlossen habe, von denen nun die ersteren an der Nordseite, die letzteren an der Südseite der über ihnen liegenden Salz (S)-, Hallstätter- und Dachsteindecke zutage träten: «La plus élevée« (d. h. die Mandlingtrias) »de ces lames« — gemeint sind die von E. Haug zur bajuvarischen Nappe gezählten Radstädter Tauerngebilde — »supporte encore des lambeaux peu étendus de couches nummulitiques« (bei Radstadt) »dont la présence dans cette région des Alpes est tout à fait énigmatique, si on ne suppose pas que cette lame est la réapparition, sous la nappe S, de la nappe B, dans laquelle on connaît également, près de Reichenhall, de couches à Nummulites, vraisemblablement de même âge.«

Indem J. Boussac[4] in Übereinstimmung mit E. Haug die Wurzel der bajuvarischen Nappe in die Gailtaler Zone verlegt, findet er nach Rückversetzung der übereinander geschobenen Decken in ihren Sedimentationsraum die verwandtschaftlichen Beziehungen der zur bajuvarischen Nappe gerechneten Paläogenschichten von Reit im Winkel und Häring mit jenen von Oberburg und Polschitza, die sich an die Zone der Tonalite unmittelbar im Süden anschlössen, leicht erklärlich, desgleichen die Ähnlichkeit der Floren von Häring und Sotzka. Das Priabonien von Reichenhall und das Oligozän von Reit im Winkel und Häring stelle eine von der alpinen Eozänsynklinale (»helvetisch-präalpinen Flyschzone«) nach Süden erfolgte Transgression über die eine kontinentale Plattform bildenden nörd-

---

[1] R. Jäger (Ein Gerölle von eozänem Nummulitenkalk im Miozän bei Leutschach. Verh. d. k. k. Geol. Reichs-A. 1913, p. 403) fand hier am Hoheneck im miozänen, aus Quarz- und krystallinen Rollstücken bestehenden Strandkonglomerat ein mitteleozänes Kalkgerölle mit *Nummulina perforata* de Montf., *Assilina* sp., *Alveolina* sp., verschiedenen kleinen Foraminiferen und Lithothamnien. Er bemerkt hierzu: »Offenbar war der Nummulitenkalk noch im Miozän in der Gegend von Leutschach anstehend und stand vielleicht einmal mit dem Eozän von Guttaring einerseits, mit den ungarischen Eozänvorkommnissen andrerseits in Verbindung.«

[2] Vgl. über das Eozän von Guttaring C. Diener, l. c. (1903), p. 459, 601 und 603 und die p. 23 [193], Fußnote 2 dieser Abhandlung angeführten Arbeiten. K. A. Penecke (l. c., p. 16) betrachtet die Eozänschichten von Guttaring als »Ablagerungen einer der nördlichsten Buchten desselben Meeres, das die Schichten von Ronca zum Absatz brachte«. Zur unter- oder mitteloligozänen Zeit bildeten sich hier an der Südseite der alpinen Insel die korallenführenden Ablagerungen von Oberburg (südöstlich der Steineralpen) in Untersteiermark und von Polschitza (zwischen Radmannsdorf und Krainburg) in Oberkrain. Vgl. C. Diener, l. c., p. 560 und F. Toula, l. c., p. 133.

[3] E. Haug, Le Nappes de charriage des Alpes calcaires septentrionales (1906), p. 373, 414, 421.

[4] J. Boussac, Études stratigraphiques sur le Nummulitique alpin (1912), p. 606, 610, 654 bis 657.

lichen Kalkalpen dar, deren Deckenbau bereits damals, ja vielleicht sogar schon vor der oberkretazischen (Gosau-) Ingression bestanden haben könnte. Das Lutétien von Guttaring erinnere insbesondere an die alttertiären Ablagerungen des Vizentins und Ungarns.

L. Kober[1] hat das Eozän von Radstadt, Kirchberg am Wechsel und des Leithagebirges in Beziehung zu seiner »norischen Linie» gebracht, der an der Südseite der nördlichen Kalkalpen seine »unterostalpine« (bayerisch-niederösterreichische) von seiner »oberostalpinen« (Hallstätter- und Dachstein)-Decke trennenden Fuge, an (bei Radstadt) oder nahe bei welcher (bei Kirchberg) jene Paläogenbildungen aufträten. Nachdem in den Alpen und Karpathen die unterostalpine (bezüglich subtatrische) Nappe über das lepontinische (bezüglich hochtatrische) Deckensystem geschoben worden und letzteres auch stellenweise (Semmeringgebiet) wieder als Fenster unter ersterem zutage getreten sei, wäre das Eozän von Süden her über beide Serien transgrediert. So sei es bei Radstadt auf der unterostalpinen Decke (Mandlingtrias), bei Kirchberg auf einem lepontinischen Fenster abgelagert worden, wie es sich in den Kleinen Karpathen sowohl auf der voralpinen und subtatrischen als auf der hochtatrischen Entwicklung finde.

Nach ihrer Lage und ihrer durchaus ähnlichen kalkig-konglomeratischen Ausbildung betrachtet L. Kober alle genannten Eozänvorkommen als den einheitlichen nördlichen Küstensaum des tropischen und sich gegen Süden ausbreitenden pannonisch-dinaridischen Paläogenmeeres, von dem sich auch ein Arm gegen Norden ins Inntal (Häring) erstreckt habe.

Indem Kober jede Beziehung dieser »inneren Eozänvorkommnisse der Ostalpen« mit dem »ganz verschiedenen« Eozän der sich weiter nordwärts ausdehnenden Flyschzone in Abrede stellt, hält er wohl die auf lepontinischem Sockel liegende und über das Meeresniveau aufragende Region der unterostalpinen Kalkzone für die die beiden eozänen Ablagerungsräume scheidende Landbarre.

Da sich die Gosauschichten der Kainach in Steiermark und des Krappfeldes in Kärnten nicht mehr von der über dieses unterostalpine Gebiet hinweggeglittenen oberostalpinen Decke beeinflußt zeigten, müßte diese Deckenbewegung hier nach Kober bereits vorgosauisch erfolgt sein. Zur Eozänzeit hätte sich daher die oberostalpine Serie, von der See überflutet, bereits nördlich der Kainach und von Guttaring befunden, während sie andrerseits noch südlich von dem durch das Radstädter und Kirchberger Eozän bezeichneten Litoralsaum gelegen wäre. Erst während oder nach der Eozänzeit habe sich ihre Weiterförderung über die unterostalpine Decke im Norden abgespielt, wobei sie deren Mesozoikum und Alttertiär vom älteren Untergrunde abgestaut und als selbständige Abscherungsdecke an einer basalen Schubbahn von Werfener Schiefern nordwärts verfrachtet habe. »Einige Schubschollen sind zurückgeblieben, schwache Reste einer mächtigen Decke: der Mandlingzug, die Trias vom Reichenstein, der Veitsch und von Sieding. Das Eozän von Radstadt ist ebenfalls ein solcher zurückgebliebener Rest. Es ist aber nachträglich der miozänen Aufbereitung zum größten Teile zum Opfer gefallen und so ist es heute auf fremder Lagerstätte.« (L. Kober.)

Da sich den kalkigen Eozänablagerungen von Radstadt und Kirchberg ähnliche, lithothamnien- und foraminiferenreiche Lutétiengesteine auch im Bereiche der Flyschzone an verschiedenen Stellen gebildet haben, welche eben diesen Organismen zusagende Lebensbedingungen darboten (Granitmarmor bei Neubeuern und Kressenberg, Mattsee u. s. f.), vermögen wir Kober nicht beizupflichten, wenn er jegliche direkte Beziehung zwischen beiden Regionen aus faziellen Gründen leugnet und die Annahme von Fjorden für die Vorkommen im Pongau und am Wechsel als unzutreffend erklärt.

Uns scheint sich hingegen ihre Deutung als Ablagerungen in einem nord-, bezüglich nordostwärts geöffneten Fjorde leicht und ungezwungen dem Bauplane der Nordalpen einzuordnen, deren herrschende Züge namentlich durch F. F. Hahn's tiefdurchdachte Ostalpensynthese in helles Licht der Erkenntnis gerückt worden ist.

---

[1] L. Kober, Bericht über die geotektonischen Untersuchungen im östlichen Tauernfenster und seiner weiteren Umrahmung (1912), p. 31 bis 33; Derselbe, Der Deckenbau der östlichen Nordalpen (1912), p. 15 bis 16; Derselbe, Über Bau und Entstehung der Ostalpen (1912), p. 20, 80, 84, 87 bis 88, 89, 107 bis 109 (des Sonderabdruckes).

Literatur über das Eozän von Radstadt, Kirchberg und Wimpassing.

1879. F. Toula, Über Orbitoiden und Nummuliten führende Kalke vom »Goldberg« bei Kirchberg am Wechsel. Jahrb. d. k. k. geol. Reichs-A., Bd. XXIX, p. 123 bis 136.

1884. L. Roth v. Telegd, Umgebungen von Kismarton (Eisenstadt). Blatt C.-6 (1 : 144.000). Erläuterungen z. geol. Spezialkarte d. Länder d. ung. Krone, p. 18 bis 19.

1889. C. W. v. Gümbel, Über einen Nummulitenfund bei Radstadt (1. Aug. 1889). Verhandl. d. k. k. geol. Reichs-A., 1889, p. 231 bis 232.

1889. F. R. v. Hauer, Jahresbericht für 1889. Annal. d. k. k. naturh. Hofmus., Bd. V, p. 71.

1890. W. v. Gümbel, Geologische Bemerkungen über die warmen Quellen von Gastein und ihre Umgebung. Sitzungsber. d. math.-phys. Kl. d. kgl. bayr. Akad. d. Wiss. zu München. Bd. XIX, Jahrg. 1889, p. 383.

1894. F. Wähner, Geologische Bilder von der Salzach. Vorträge d. Ver. z. Verbr. naturw. Kenntn. in Wien, XXXIV. Jahrg. (1894), p. 68.

1896. F. Frech, Über den Gebirgsbau der Radstädter Tauern. Sitzungsber. d. kgl. preuß. Akad. d. Wiss. zu Berlin, Jahrg. 1896, II, p. 1264.

1897. M. Vacek, Einige Bemerkungen über den Gebirgsbau der Radstädter Tauern. Verhandl. d. k. k. geol. Reichs-A., 1897, p. 63.

1897. E. v. Mojsisovics, Über das Auftreten von Nummulitenschichten bei Radstadt im Pongau. Verhandl. d. k. k. geol. Reichs-A., 1897, p. 215 bis 216.

1899. C. Diener, Grundlinien der Struktur der Ostalpen. Petermann's geograph. Mitt., 45. Bd. (1899), p. 207.

1900. F. Frech, Zur Geologie der Radstädter Tauern. 77. Jahresber. für 1899 d. Schles. Ges. f. vaterl. Cultur, II. Abt. Naturw. a. Naturw. Sektion (Breslau), p. 11.

1901. — Geologie der Radstädter Tauern. Koken's geol. u. pal. Abhandl. N. F. Bd. V, Heft 1, p. 17, 65.

1903. C. Diener, Bau und Bild der Ostalpen und des Karstgebietes. Wien u. Leipzig 1903, p. 362, 381, 382, 470, 603.

1905. E. v. Mojsisovics, Erläuterungen zur geologischen Karte der im Reichsrate vertretenen Königreiche und Länder der österreichisch-ungarischen Monarchie. SW-Gruppe. Nr. 19. Ischl und Hallstatt, p. 52.

1905. L. Roth v. Telegd, Umgebungen von Kismarton (Sektionsbl. Z. 14, Kol. XV). Erläut. z. geol. Spezialkarte d. Länd. d. ung. Krone (1 : 75.000). (Budapest), p. 12.

1906. E. Haug, Les nappes de charriage des Alpes calcaires septentrionales. Bull. de la Soc. géol. de France, 4e ser., tom. VI (1906), p. 373, 414, 421.

1906. V. Uhlig in F. Becke und V. Uhlig, Erster Bericht über petrographische und geotektonische Untersuchungen im Hochalmmassiv und in den Radstädter Tauern. Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wiss. in Wien, math.-nat. Kl., Bd. CXV, Abt. I, p. 39.

1908. F. Frech, Über den Gebirgsbau der Alpen. Petermann's geograph. Mitt., 54. Bd. (1908), p. 225.

1908. F. Trauth in V. Uhlig, Zweiter Bericht über geotektonische Untersuchungen in den Radstädter Tauern. Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wiss. in Wien, math.-nat. Kl., Bd. CXVII, Abt. I, p. 37, 41.

1908 bis 1911. E. Haug, Traité de Géologie. II. Les Périodes géologiques (Paris), p. 1482.

1909. E. Sueß, Das Antlitz der Erde. Bd. III/2, p. 180, 185.

1910. H. Mohr, Zur Tektonik und Stratigraphie der Grauwackenzone zwischen Schneeberg und Wechsel (N.-Oe.). Mitt. d. geol. Ges. in Wien, Bd. III, p. 201 bis 204, 206 bis 209, 212.

1912. J. Boussac, Études stratigraphiques sur le Nummulitique alpin. Mém. pour serv. à l'explic. de la Carte géol. détaill. de la France. Paris 1912, p. 607.

1912. F. Heritsch, Fortschritte in der Kenntnis des geologischen Baues der Zentralalpen östlich vom Brenner. I. Die Hohen Tauern. Geolog. Rundschau, Bd. III, p. 186.

1912. — Das Alter des Deckenschubes in den Ostalpen. Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wiss. in Wien, math.-nat. Kl., Bd. CXXI, p. 7.

1912. L. Kober, Bericht über die geotektonischen Untersuchungen im östlichen Tauernfenster und seiner weiteren Umrahmung. Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wiss. in Wien, math.-nat. Kl., Bd. CXXI, p. 24, 25, 29, 31, 32, 33.

1912. — Der Deckenbau der östlichen Nordalpen. Denkschr. d. kais. Akad. d. Wiss. in Wien, math.-nat. Kl., Bd. LXXXVIII, p. 15 bis 16.

1912. — Über Bau und Entstehung der Ostalpen. Mitt. d. geol. Ges. in Wien, Bd. V, p. 386, 446, 450, 453 bis 454, 473 bis 475 (p. 20, 80, 84, 87 bis 88, 107 bis 109 des Sonderabdruckes).

1913. — Radstädter Tauern. Führer zu geol. Exkursionen in Graubünden und in den Tauern. Geol. Rundschau, herausgeg. v. d. geol. Vereinigung, Bd. III, p. 526.

1913. G. Götzinger, Zur Frage des Alters der Oberflächenformen der östlichen Kalkhochalpen. Mitt. d. k. k. geograph. Ges. in Wien, 56. Bd. (1913), p. 56.

1915. F. Heritsch, Die österreichischen und deutschen Alpen bis zur alpino-dinarischen Grenze (Ostalpen). Handbuch der regionalen Geologie. Heidelberg, 1915, p. 45, 54, 110, 118.

1916. F. Trauth, Vorläufige Mitteilung über den geologischen Bau der Südseite der Salzburger Kalkalpen. Akad. Anzeig. Nr. 5 d. kais. Akad. d. Wiss. in Wien, Sitzung d. math.-nat. Kl. v. 10. Febr. 1916, p. 2, 4.

1916. — Die geologischen Verhältnisse an der Südseite der Salzburger Kalkalpen. Mitt. d. geol. Ges. in Wien, Bd. IX, p. 78 bis 79.

II. Paläontologischer Teil.

Thallophyta.

Familie: **Dasycladaceae** (Endl.) Cram. em.

Von Dr. **Julius v. Pia.**

Furcoporella diplopora nov. gen. nov. spec. (Pia).

(Taf. I, Fig. 1, 2; Textfig. 4.)

Die Diploporenart aus dem Radstädter Eozän, die mir mein Freund Dr. F. Trauth zur Bearbeitung freundlichst übergeben hat, ist in mehrfacher Beziehung merkwürdig. Durch ihren relativ einfachen Bau weicht sie von allen bisher bekannten tertiären Dasycladaceen ab und schließt sich an viel ältere Formen an. Dabei wurde die besondere Art der Verzweigung der Äste noch nie in genau derselben Weise beobachtet. Die neue Spezies ist durch mehrere Querschnitte und schräge Längsschnitte in den Dünnschliffen vertreten. Die Erhaltung ist recht günstig. Das natürliche obere und untere Ende des Skeletts wurde zwar nicht beobachtet. Es ist aber sehr wahrscheinlich, daß die Kalkröhrchen zylindrisch, ohne merkliche terminale Anschwellung waren. Alle untersuchten Stücke sind gerade. Die Knickung des abgebildeten Schnittes beruht augenscheinlich auf einem nachträglichen Bruch der Schale.

Die Dimensionen sind die folgenden:

Äußerer Durchmesser in Millimetern	Durchmesser des inneren Hohlraumes		Abstand der Wirtel		Zahl der Poren in einem Wirtel
	in Millimetern	in Prozenten des äußeren Durchmessers	in Millimetern	in Prozenten des äußeren Durchmessers	
0·34	0·15	44	4 auf 0·34	25	.
0·34	0·15	44	.	.	12
0·30	0·11	37	.	.	12
0·30	0·11	37	.	.	.
0·28	0·11	39	18 auf 1·2	24	.
0·28	0·13	46	7 auf 0·51	26	.
0·28	0·12	43	.	.	.
0·27	0·14	52	11 auf 1·1	35	.
0·26	0·10	39	.	.	.

Die Länge des größten Bruchstückes (durch Konstruktion ermittelt aus der großen und kleinen Achse der Schnittellipse) beträgt 1·2 *mm*.

Weite der Poren nächst der Außenfläche der Schale ungefähr 0·04 bis 0·06 *mm*.

Weite der Poren in ihrem engsten Teile ungefähr 0·025 bis 0·035 *mm*.

Die Poren stehen in etwas unregelmäßigen Wirteln. Sie sind relativ sehr dick, gerade, wenig schräg gestellt oder fast senkrecht. Je zwei Poren desselben Wirtels sind an ihrer Basis vereinigt, wie man dies auf dem Querschnitt Taf. I, Fig. 2, vollkommen deutlich sieht. Es ist besonders zu beachten, daß die zusammengehörigen Poren in einer horizontalen Ebene liegen, nicht etwa vertikal übereinander. In der Mitte der Wand sind die Kanälchen am dünnsten und erweitern sich von hier nicht nur gegen außen, sondern auch gegen innen sehr deutlich. Eine gegenseitige Abflachung benachbarter Wirteläste ist nicht zu bemerken.

Die einzige Art, mit der die untersuchte eozäne Form auf den ersten Blick einige Ähnlichkeit hat, ist die sogenannte *Diplopora Mühlbergii* Lorenz aus dem Urgonkalk der Westalpen. Es wird gut sein, die wesentlichen Merkmale dieser Spezies, wie sie sich aus der guten Beschreibung und den Abbildungen bei Arbenz ergeben, zum Zweck eines näheren Vergleiches hier zusammenzustellen:

Länge der beobachteten Bruchstücke bis 1·4 *mm*.

Äußerer Durchmesser 0·3 bis 0·5 *mm*.

Durchmesser des inneren Hohlraumes 0·1 bis 0·22 *mm* = zirka 40 %.

Abstand der Wirtel zirka 50 %?.

Zahl der Poren in einem Wirtel zirka 8?.

Poren gerade, senkrecht zur Achse gestellt, meist gegen außen deutlich erweitert. Die glatte Innenfläche der Schale beweist, daß das Skelett der Stammzelle vollständig anlag. Die Sporenbildung hätten wir uns bei dieser Form wahrscheinlich in der Stammzelle zu denken, wie ich dies bei einer triadischen Art direkt beobachtet habe und demnächst beschreiben werde.

Eine gewisse Ähnlichkeit zwischen den beiden betrachteten Formen bestätigt sich auch bei genauerer Untersuchung und ich war, bevor es mir gelang, den genauen Verlauf der Poren bei der Radstädter Art festzustellen, der Meinung, daß beide in einem Genus vereinigt werden könnten. Wenden wir uns zunächst der Frage der generischen Zugehörigkeit der kretazischen Form zu, so wird man durch den Gesamthabitus wohl ganz entschieden auf mein Genus *Oligoporella* hingewiesen. Eine Vereinigung mit demselben wird aber meiner Ansicht nach durch die gegen außen so deutlich erweiterten Poren unmöglich gemacht. Für eine Zurechnung zu *Macroporella* ist andrerseits doch der Mangel einer richtigen Rindenschicht ein Hindernis. Denn die Poren sind locker angeordnet und schließen sich auch in ihrem distalen Teil nicht dicht aneinander. Dazu kommt, daß sich unter den triadischen Macroporellen keine einzige euverticillate Art befindet. Die von mir in den »Neuen Studien« mit Vorbehalt hierher gestellte *Macroporella* (?) *alpina* habe ich auf Grund neuen Materials als eine *Diplopora* erkannt. Da auch kein anderes schon bestehendes Genus der *Siphoneae verticillatae* zur Aufnahme der Art geeignet erscheint, bleibt nichts übrig, als eine neue Gattung aufzustellen:

Salpingoporella nov. gen. (Pia).

Definition: Kleine, stabförmige Dasycladaceen mit wenig zahlreichen, in Wirteln gestellten, gegen außen deutlich erweiterten, unverzweigten und nicht in Büscheln vereinigten Poren. Skelett ungegliedert. Die Sporen wurden wahrscheinlich in der Stammzelle gebildet.

Verbreitung: Bisher nur aus der Unterkreide der Westalpen bekannt.

Einzige Art:

Salpingoporella Mühlbergii Lor. spec.

Textfig. 4 *a*.

Kalkröhrchen oft gekrümmt. Verkalkung bis zur Stammzelle reichend.

Verbreitung: Neritisches Barrémien und Aptien der Westalpen: Orbitolinenschichten (Barrémien) von Voreppe (Isère). Barrémien von Châtillon en Diois (Drôme). Schrattenkalk (?) der östlichen Kientaler Alpen, Kanton Bern. Schrattenkalk (Barrémien, seltener auch im Aptien) beim Wildkirchli nächst Appenzell (Säntisgebirge). Tristelbreccie (Unterkreide) der Falknis-Gruppe (Rhätikon).

Aus dem Gesagten geht wohl schon hervor, daß wir die neue eozäne Art von Radstadt auch in dem Genus *Salpingoporella* nicht unterbringen können, so daß wir uns entschließen müssen, auch für sie eine besondere Gattung zu begründen. Es ist ja allerdings nicht erfreulich, wenn man für einzelne Arten neue Genera aufstellen muß, doch darf nicht vergessen werden, daß auch relativ viele rezente Dasycladaceen-Gattungen nur eine einzige Spezies umfassen, obwohl hier die Erkennbarkeit einer Form nicht an den Besitz eines kräftigen Skeletts gebunden ist. Ich nenne die vorliegende alttertiäre Gattung:

Furcoporella nov. gen. (Pia).

Definition: Gesamtform zylindrisch. Poren gegen außen erweitert, in der Ebene des Wirtels zu je zweien an der Basis vereinigt, wenig zahlreich. Skelett ungegliedert. Diese Definition kann wohl nur als provisorisch angesehen werden. Wahrscheinlich müßte sie gewisse Änderungen erfahren, wenn neue, mit unserer eozänen Art verwandte Formen entdeckt werden sollten.

Verbreitung: Bisher nur im Eozän (Lutétien) von Radstadt.

Einzige bekannte Art:

Furcoporella diplopora nov. spec. (Pia.).

Taf. I, Fig. 1, 2, Textfig. 4 *b*.

Thallus scheinbar stets gerade. Verkalkung nicht bis zur Stammzelle reichend. Dimensionen siehe oben, pag. 40 [210].

Verbreitung: Bisher nur in dem zu Schliff Nr. 19 und 30 gehörigen Mitteleozän-Gerölle von Radstadt (Lutétien).

Die Ähnlichkeit der neuen Art mit *Salpingoporella Mühlbergii* Lor. sp. ist, wenn man nicht das Glück hat, gerade einen Schliff durch die Mitte eines Wirtels zu bekommen, ziemlich groß. Und da erfahrungsgemäß für diejenigen, die sich nicht durch längere Zeit eingehend mit dem Gegenstande beschäftigt haben, die Unterschiede der Diploporenarten durch die Verschiedenheiten der Erhaltung und der Lage der Schnitte im Dünnschliff oft vollständig verdeckt werden, gebe ich in der nachstehenden Figur zwei ganz gleichliegende, schematische Schrägschnitte durch die beiden verglichenen Arten:

Fig. 4.

Zwei gleich stark geneigte, schematische Schrägschnitte.

a) Salpingoporella Mühlbergii Lor. sp. Hauptsächlich auf Grund der Angaben von P. Arbenz.
b) Furcoporella diplopora nov. sp. (Pia.)

Die Rekonstruktion der neuen Form bietet sehr große Schwierigkeiten. Die Erweiterung der Poren gegen außen führt zu der Vermutung, daß wir uns dieselben durch eine etwas gewölbte Scheitelmembran abgeschlossen denken sollen. Dazu paßt aber — ebenso wie bei *Salpingoporella Mühlbergii* — sehr schlecht die lockere Anordnung der Poren. Andrerseits ist die distale Erweiterung derselben doch zu deutlich, um der Art trichophore Wirteläste zuzuschreiben. Man könnte in Anbetracht des für das geringe geologische Alter einfachen Baues der Schale daran denken, ob nicht wesentliche Teile der Wirteläste mit Verzweigungen, Sporangien oder dergleichen außerhalb des Skeletts lagen. Es ist jedoch durchaus kein ähnlicher Fall bekannt, so daß eine solche Vorstellung sehr unwahrscheinlich wird. Die Frage, ob die Poren von *Furcoporella* den primären oder sekundären Wirtelästen entsprechen, ist nicht ohneweiters zu beantworten. Man könnte sich allenfalls wohl denken, daß wir es mit in zweizeiligen Büscheln gestellten Poren erster Ordnung zu tun haben. Wegen der Erweiterung der Kanälchen gegen innen halte ich es aber für wahrscheinlicher, daß wir im inneren Hohlraum zwischen Skelett und Stammzelle kurze, tonnen- oder kugelförmige Äste erster Ordnung anzunehmen haben, auf denen zu je zweien die die Schale absondernden sekundären Zweige saßen. Vielleicht darf man vermuten, daß die primären Äste ähnlich wie bei *Triploporella* der Sitz der Sporenbildung waren.

Eine Erörterung verdient noch das Verhältnis der neuen Gattung *Furcoporella zu Diplopora* s. s., da gewisse Ähnlichkeiten zwischen ihnen nicht zu verkennen sind. Vorausschicken muß ich, daß ein sehr reiches neues Material eine Umarbeitung meiner älteren Ausführung über *Diplopora* und *Kantia* notwendig gemacht hat, die ich bald zu veröffentlichen hoffe. Die Gründe, die mich bewegen, eine Zurechnung der eozänen Art zu *Diplopora* für ziemlich ausgeschlossen zu halten, sind folgende:

1. Die abweichende Gestalt der gegen außen erweiterten, dabei aber weit offenen, nicht bläschenförmigen Poren. (Bezüglich des Verhaltens dieses Merkmales bei *Diplopora* muß ich auf künftige Mitteilungen verweisen.)
2. Die Zweizahl der zusammengehörigen Poren, die ich bei *Diplopora* nie beobachtet habe.
3. Der Mangel einer Gliederung der Schale, der bei *Diplopora* nur ausnahmsweise vorkommt.
4. Die Vermutung, daß die Poren der eozänen Art Abdrücke der Wirteläste zweiter Ordnung sind.
5. Die außerordentlich große zeitliche Lücke zwischen den jüngsten echten Diploporen und dem Mittel-Eozän.

Literatur zu diesem Kapitel.

T. Lorenz: Geologische Studien im Grenzgebiete zwischen helvetischer und ostalpiner Fazies., II. Der südliche Rhaetikon. (Ber. d. naturf. Ges. Freiburg i. Br., vol. 12, 1902), p. 52, Fig. 3 bis 7.

M. W. Kilian et M. Hovelacque: Album des microphotographies des roches sédimentaires. (Paris 1900.) Tab. 36, Fig. 2; Tab. 45, Fig. 1 u. 2; Tab. 48, Fig. 2.

W. Kilian: Palaeocretacicum (F. Frech: Lethaea geognostica, II. Teil, Bd. 3, Lief. 1, 1907), p. 87 (Figuren).

P. Arbenz: Über Diploporen aus dem Schrattenkalk des Säntisgebietes. (Vierteljahrsschr. d. naturf. Ges. Zürich, vol. 53, 1908), p. 387, Fig. 1 bis 5.

J. v. Pia: Neue Studien über die triadischen *Siphoneae verticillatae.* (Beitr. z. Pal. u. Geol. Öst.-Ung. u. d. Or., vol. 25, 1912), p. 33 u. 41, Tab. 8, Fig. 10 u. 13.

Dr. Julius v. Pia.

Familie: **Corallinaceae** (Gray) Harv.

Von Dr. **Friedrich Trauth.**

Lithothamnium torulosum Gümb.

(Taf. I, Fig. 3 bis 10.)

1871. *Lithothamnium torulosum* C. W. Gümbel, Die sogenannten Nulliporen etc. I. Teil. (*Lithothamnium.*) Abhandl. d. k. bayer. Akad. d. Wiss., II. Kl., XI. Bd., I. Abt., p. 30, Taf. II Fig. 6 *a—b.*

? 1890. *Lithothamnium nummuliticum,* pars, J. Früh, Zur Kenntnis der gesteinbildenden Algen der Schweizer Alpen. Abhandl. d. schweiz. pal. Ges. Vol. XVII (1890), p. 17 bis 19 (vgl. A. Rothpletz, l. c., p. 322).

1891. *Lithothamnium* (*Archaeolithothamnium*) *torulosum* A. Rothpletz, Fossile Kalkalgen aus den Familien der Codiaceen und der Corallineen. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Ges., 43. Bd. (1891), p. 303, 310 u. 318, Taf. XVII, Fig. 2, 6.

1901. *Lithothamnium torulosum* A. Martelli, Fossili di Paxos e Antipaxos, p. 433, Taf. VII, Fig. 14.

1902. *Lithothamnium torulosum* A. Martelli, I Fossili dei terreni eocenici di Spalato, p. 97.

Fast in allen unseren Dünnschliffen sowohl des Radstädter als des Kirchberger und Wimpassinger Eozäns sind größere und kleinere, knollige, astförmige oder irregulär zerfetzte Fragmente und Gesteinsstückchen oder andere Organismen[1] umwachsende Krusten dieser kleinzelligen Lithothamnien-

---

[1] Besonders häufig hüllen sie Bryozoën und Foraminiferen ein, wie dies auch Früh, l. c., p. 22, von den schweizerischen Eozän-Lithothamnien erwähnt.

spezies vertreten, welche häufig schon mit freiem Auge an der Bruch- oder Anwitterungsfläche der Eozängesteine als elfenbeinweiße »Flocken« wahrnehmbar sind. Durch diese Färbung heben sich auch im Dünnschliffe bei auffallendem Lichte ihre Zellwände von dem düster aussehenden, oft mit Kalkspat erfüllten Zellenlumen ab, während dieses umgekehrt bei durchfallendem Lichte hell im Vergleiche zu dem Dunkel der Wandungen erscheint.

Wir bezeichnen diesen Erhaltungszustand, welcher der Beobachtung des Zellenbaues weitaus günstiger als der viel seltenere und später zu beschreibende »bryozoënähnliche« ist, als den »normalen«. Er tritt uns in den auf Taf. I, Fig. 3 bis 6 abgebildeten Schnitten entgegen, an die sich die nachstehende Darlegung über die unsere Lithothamnienreste kennzeichnende Struktur knüpfen möge.

Die beiden Gewebearten, welche den Algenkörper aufbauen, treten im Längsschnitte (Taf. I, Fig. 3) deutlich hervor: der Markstrang (Hypothallium), dessen lang- bis kurzrechteckig erscheinende Zellen sich sowohl nach übereinander folgenden, bogenförmigen Reihen (Periklinalzonen) als nach etwa senkrecht darauf stehenden, von der Medianachse (Symmetrielinie) des Markstranges sich zur Peripherie biegenden Reihen (Antiklinalzonen) ordnen, und die Rindenschicht (Perithallium), die aus den randlichen Zellen des Hypothalliums hervorgehend, sich sozusagen diskordant über dasselbe legt und stets aus kürzeren (im Schnitte annähernd quadratisch erscheinenden) Zellen besteht.

Wie die Kernpartie des Querschnittes durch ein rundliches Ästchen (Taf. I, Fig. 4) zeigt, treten uns die hier transversal auf ihre Längserstreckung getroffenen Zellen des Hypothalliums als aneinander stoßende, fünf- bis siebeneckige Polygone entgegen, deren Zentrum ein dunkler, sich bei stärkerer Vergrößerung in ein mehrstrahliges Sternchen auflösender Punkt einnimmt.[1]

Die Zellen der Rindenschicht erscheinen hingegen ihrer parallelepipedischen Gestalt gemäß[2] auch im Querschnitt stets nur als Rechtecke oder Quadrate, aber niemals als Polygone.

Die Länge der Zellen beträgt in den von uns untersuchten Schliffen im Perithallium zirka 7 bis 12 μ, im Hypothallium oft bis 35 μ (ausnahmsweise sogar mehr) und ihre Breite 7 bis 11·5 μ (nach Rothpletz 7 bis 9 μ), so daß eine Unterscheidung relativ breitzelliger Fragmente dieser Spezies von verhältnismäßig schmalzelligen des *Lithothamnium nummuliticum* Gümb. (vgl. p. 49 [219]) mitunter sehr schwierig, ja unmöglich werden kann.

Nicht selten gewahrt man ferner in den Dünnschliffen fast nur mehr aus zwei Zellenreihen bestehende Fragmentchen, die auch solchen von *Lithothamnium nummuliticum* dem Aussehen nach völlig entsprechen und wie diese für die Deutung gewisser als *Lithothamnium* (?) spec. (vgl. p. 50 [220]) beschriebener, biserialer Reste ein gewisses Interesse verdienen.

Die Zuteilung unserer Art zum Genus (bezüglich Subgenus) *Archaeolithothamnium* wird von Rothpletz (l. c., p. 310) auf die Organe der ungeschlechtlichen Fortpflanzung[3] begründet, die in der Regel als Tetrasporangien, mitunter aber auch als Conceptakeln entwickelt sind.

---

[1] J. Früh (l. c., p. 10, Taf. Fig. 5 u. 6) deutet ihn als ein leeres Zentrum, gegen welches hin von der Zellwand die spätere Ablagerung von kohlensaurem Kalk stattgefunden hat.

[2] Vgl. Rothpletz, l. c., p. 307; Früh, l. c., p. 10.

[3] Die Fortpflanzung der Lithothamnien erfolgt wie bei sämtlichen Corallinaceen, respektive allen Florideen, bezüglich Rhodophyten (Rotalgen), bald auf geschlechtlichem, bald auf ungeschlechtlichem Wege (vgl. R. v. Wettstein, Handbuch der systematischen Botanik. I. Band, Leipzig u. Wien, 1901, p. 182 bis 185), die hier kurz charakterisiert sein mögen.

Geschlechtliche Fortpflanzung: Die männlichen Keimzellen oder Spermatien werden bei den Rhodophyten in Mutterzellen gebildet, die meistens zu vielen beisammen stehen und dann Antheridien genannt werden. Passiv vom Wasser verfrachtet, befruchten die Spermatien die bei den Florideen als Carpogonien bezeichneten und mit einer haarartigen Verlängerung (Trichogyn) versehenen Eizellen, deren Mutterzellen die Oogonien sind. Nach und durch die Kopulation entstehen — bei verschiedenen Florideen auf verschiedene Art, speziell bei den Corallinaceen durch lange, vom Carpogonium austreibende, auf Auxiliarzellen zuwachsende und mit ihnen kopulierende Ooblastemfäden — verzweigte, Sporen hervorbringende Zellenfäden, die sogenannten Gonimoblaste. Diese wie ihre — also geschlechtlich erzeugten — Sporen liegen bei den Rhodo-

Beiderlei Organe haben sich an Schliffen des Radstädter und Wimpassinger Eozäns feststellen lassen.

Die Tetrasporangien (Taf. I, Fig. 5) treten mit Vorliebe zu vielen gehäuft in untereinander parallelen, zonaren Feldern des Zellengewebes (Perithalliums) auf und zeigen im Längsschnitt eine ei- bis flaschenförmige und im Querschnitt eine ungefähr kreisförmige Gestalt.[1] Ihre Breite schwankt zwischen zirka 45 und 65 μ und ihre Länge zwischen 65 und 95 μ, so daß sie die von Rothpletz an einem Exemplar derselben Spezies aus der Val Sugana beobachteten Dimensionen (Breite 40 μ, Länge 50 μ) übertreffen.

Hingegen bleiben die länglichen, nieren- oder blasenförmigen Conceptakeln, welche wir besonders schön im Schliff I des Wimpassinger Eozäns ausgebildet sehen (Taf. I, Fig. 6), mit ihrer Länge von 100 bis 350 μ und ihrer Höhe von 66 bis 110 μ hinter den entsprechenden Größenverhältnissen, die Rothpletz an Stücken des Kressenberger Eozäns ermitteln konnte (Länge 400 μ, Höhe 150 μ) zurück. Einige unserer Conceptakel-Schnitte lassen, wie ein Blick auf die Abbildung zeigt, noch eine Teilung in einzelne Tetrasporangienfächer erkennen.

Das Innere sowohl der zonar angeordneten Tetrasporangien als der Conceptakeln ist hauptsächlich von heller Calcitsubstanz ausgefüllt.

In den aus dem rötlichbraunen Eozängestein des Kirchberger Goldberges angefertigten Dünnschliffen haben die Zellwände der »normal« erhaltenen Lithothamnienstöckchen oft infolge limonitischer Infiltrationen eine gelbbraune und die Zellenlumen eine rostiggraue Färbung angenommen, wie sie auch häufig an den Lithothamnienresten des eisenschüssigen Kressenberger Eozäns beobachtet wird.

---

phyten entweder frei oder von verschiedenartigen Hüllen umgeben im Thallus. Die die Sporen bildenden Gewebepartien pflegen als Cystocarpien bezeichnet zu werden. Sind diese hohlraumartig entwickelt, so werden sie auch gleich ähnlichen, von den Antheridien ausgekleideten Höhlungen Conceptakeln genannt (vgl. S. Rosanoff, Recherches anatomiques sur les Mélobésiées. Mém. de la Soc. imp. des scienc. nat. de Cherbourg, tome XII (1866), p. 39 bis 47; Früh, l. c., p. 7; Rothpletz l. c., p. 322). Natürlich dürfen diese sexuellen Conceptakeln nicht mit den gleichnamigen Organen des vegetativen Fortpflanzungsapparates verwechselt werden.

Ungeschlechtliche Fortpflanzung: Die unbeweglichen, anfangs oft membranlosen Sporen der vegetativen Fortpflanzungsart entstehen meistens zu vieren (dann Tetrasporen genannt), seltener in größerer Zahl oder nur einzeln in blasigen Sporangien (bezüglich Tetrasporangien), die sich bei den Rhodophyten an kurzen Ästchen oder an der Thallusoberfläche, seltener im Inneren des Thallusgewebes finden. Größere Höhlungen, welche mehrere Sporangien beherbergen, heißen Conceptakeln (bezüglich Conceptacula tetrasporica).

Unter dem von Rothpletz (l. c.) gebrauchten Terminus »Tetrasporen« sind die Tetrasporangien, unter Früh's (l. c.) »Cystocarpien« die vegetativen Conceptakeln (vgl. Rothpletz, l. c., p. 322) zu verstehen.

Während Früh (l. c., p. 12, Taf. Fig. 12 u. 13) gewisse rundliche Körperchen, welche er in einigen Sporangien von Lithothamnien-Präparaten aus dem Eozän von Montévraz und Paquier bemerkte, für fossile Sporen (Tetrasporen) hält, scheint Rothpletz (l. c., p. 322) dabei eher an konkretionäre, sphärolithische Gebilde zu denken.

Im Gegensatz zu Rothpletz, welcher (l. c., p. 308 u. 322) bei den fossilen Lithothamnien den Nachweis von geschlechtlichen Fortpflanzungsorganen (Spermatien erzeugende Antheridien und Cystocarpien) für ausgeschlossen hält, betrachtet P. Oppenheim (Beitr. z. Pal. u. Geol. Öst.-Ung. u. d. Or., Bd. XXV, p. 91, Fußnote 3) gewisse feine Poren, die er an der Oberfläche der von ihm untersuchten bosnischen Eozän-Lithothamnien vorfand, als Ausführungsgänge von Antheridien und Oogonien (recte Cystocarpien?). Aber gleichwohl ist sicher, daß die versteinerten fertilen Corallineenreste in ihrem Perithallium fast ausnahmslos nur die vegetativen Fortpflanzungsorgane erkennen lassen, die Rothpletz (l. c., p. 310) zur Unterscheidung folgender drei Lithothamnien-Genera verwendet:

I. *Archaeolithothamnium* (Oberkreide—Eozän), stets mit Sporangien (Tetrasporangien), welche vereinzelt stehen oder in zonaren Feldern angehäuft sind, zuweilen auch mit Conceptakeln.

II. *Lithothamnium* (Oligozän—rezent), dessen Sporangien (Tetrasporangien) zu conceptakelähnlichen Gruppen zusammentreten, jedoch dabei durch schmale Zellenbrücken noch voneinander getrennt bleiben.

III. *Lithothamniscum* (Miozän—rezent), stets mit Conceptakeln (das heißt ohne Zellenbrücken zwischen den darin enthaltenen Sporangien); isolierte Sporangien (Tetrasporangien) nicht bekannt.

[1] Vgl. Früh, l. c., p. 10 bis 11.

Abweichend von diesen in »normaler« Weise erhaltenen Zellengeweben finden sich, allerdings viel seltener, in manchen unserer Schliffe (Radstadt, Schliff Nr. 15, 16, 17, 22, 25, 32, 34, 35; Goldberg, Schliff Nr. 38, 39, V, VI; Wimpassing, Schliff Nr. 36, 37, II, III, IV) ästchenförmige oder auch irregulär begrenzte Fragmente mit einer im durchfallenden Lichte hellen, gelblichweißen Skelettfärbung, die fast wie winzige trepostome Bryozoën aussehen und ihre wahre Natur erst bei eingehender mikroskopischer Untersuchung entschleiern. Dieser bryozoënähnliche Erhaltungszustand[1] (vgl. Taf. I, Fig. 7 bis 10) sei im Folgenden näher charakterisiert:

Die zarten Ästchen, von denen das längste beobachtete (Taf. I, Fig. 7) eine Länge von 3·7 *mm* und eine Breite (maximalen Querdurchmesser) von 0·55 *mm* (= 550 µ) aufweist, besitzen eine länglich-zylindrische bis keulig-walzenförmige, gegen oben abgerundete Gestalt und entsprechen dem Markstrang (Hypothallium) von astförmigen Algenkörpern, deren darüber folgende Rindenschichte (Perithallium) fehlt oder nicht erhalten geblieben ist.[2]

Aber dadurch, daß bei dem durch die Fossilisation[3] vom normalen stark abweichenden Erhaltungszustand der in Rede stehenden Schnitte die »Periklinalzonen« oder »periklinalen Zellenreihen« des Hypothalliums, welche in normal konservierten Astlängsschnitten infolge wechselnder Farben- und Dichtigkeitsunterschiede oft schon dem unbewaffneten Auge als aufeinanderfolgende, gegen das Zweigende zu konvexe Bogenlinien sichtbar werden, mehr oder minder verwischt sind und so an Deutlichkeit merklich hinter den senkrecht zu ihnen (»antiklinal«) verlaufenden Zellenreihen[4] zurücktreten, wird ihre Zugehörigkeit zur Gattung *Lithothamnium* verschleiert und das Bild von ungewöhnlich feinröhrigen Bryozoënstöckchen vorgetäuscht.

Die »antiklinalen« Zellenreihen erscheinen so wie Röhrchen, in denen die unvollkommen erhaltenen periklinalen Zellwände nach Art der Böden (Diaphragmen) in den Zoöcien (Zooid- oder Polypidröhrchen) von trepostomen Bryozoën (*Stenopora, Monticulipora*) eine Querteilung bewirken, ganz analog, wie es auch Gümbel (l. c., Taf. I, Fig. *c*) bei einem nicht entkalkten Längsschliff von *Lithothamnium* (*Melobesia*) *lichenoides* Decs. zur Darstellung gebracht hat.

Wie groß die habituelle Ähnlichkeit derartiger Schnitte mit solchen durch trepostome Bryozoën sein kann, lehrt beispielsweise ihr Vergleich mit den von O. Haas gelieferten Abbildungen seiner pygmäenhaften *Stenopora* und *Monticulipora* aus den Zlambachschichten der Fischerwiese bei Alt-Aussee.[5]

Diese scheinbare strukturelle Übereinstimmung unserer Lithothamnien-Zweige mit den genannten Bryozoën-Gattungen wird noch weiters durch die fiederige Anordnung der röhrenartigen Zellantiklinal-

---

1 Über die Ähnlichkeit mancher Lithothamnien-Schnitte mit solchen von Bryozoën, die mitunter zu Verwechslungen zwischen ihnen geführt haben, äußert sich Gümbel, l. c., p. 12 u. 20 bis 21. Vgl. darüber auch Früh, welcher, l. c., p. 8, sagt: »Die von mir beobachteten Bryozoën stehen schon durch die Zelldimensionen in einem so großen Gegensatze zu Vertretern der *Melobesiaceae*, daß für mich eine Verwechslung stets ausgeschlossen war. Anders stellt sich die Frage, wenn eventuell verkalkte Moostiere von ungefähr gleich großen Zellen und ohne die für solche Lebewesen charakteristischen Poren vorkommen sollten. Gewöhnlich sind aber Bryozoën in Schnitten durch den Mangel einer schönen Korrespondenz von Antiklinen und Periklinen zu erkennen; der eventuelle Nachweis von Cystocarpien« — gemeint sind offenbar die Conceptakeln — »müßte jeden Zweifel ausschließen.« Auch an Hydrozoën können manche Lithothamnienschnitte erinnern; vgl. Rothpletz, l. c., p. 308, und Oppenheim, l. c., p. 90.

2 Vgl. den ebenfalls nur einem Hypothallium angehörigen Ast-Längsschnitt von *Nullipora ramosissima* Rss. bei Unger, l. c., Taf. V, Fig. 20.

3 Insbesondere durch teilweise Zerstörung der in periklinalem Sinne verlaufenden Zellenwände.

4 Mit der Anordnung der Zellen des Lithothamnien-Thallus in »Periklinalreihen« und »Antiklinalreihen« hat sich namentlich Früh, l. c., p. 4 bis 6, eingehend befaßt; vgl. auch Gümbel, l. c., p. 12. Dieser Bauplan des Hypothalliumgewebes ist in der eigenartigen, nicht wie im Perithallium ausschließlich durch Querteilung, sondern auch durch Subdichotomie erfolgenden Vermehrung seiner Zellen begründet.

5 O. Haas, Bericht über neue Aufsammlungen in den Zlambachmergeln der Fischerwiese bei Alt-Aussee. Beitr. z. Pal. u. Geol. Öst.-Ung. u. d. Or., Bd. XXII (1909), p. 161, Taf. VI, Fig. 7 *a, b*, 8, 9.

reihen vervollständigt[1], welche von der »Symmetrielinie «(Medianachse)[2] der Äste (sichtbar im Längsschnitt) ringsum gegen die periphere Oberfläche bogenförmig nach außen strahlen. Sie steigen dabei in der axialen Region zunächst fast senkrecht, also nur unter einem sehr kleinen Winkel gegen die Symmetrielinie geneigt empor, dann krümmen sie sich im Bogen nach auswärts und treffen schließlich ungefähr senkrecht auf die Astoberfläche, um hier die Basis für die — in unseren eben beschriebenen Schnitten allerdings fehlende — Rindenschichte zu liefern.

An einigen besonders günstig erhaltenen Stellen unserer Längsschnitte ist sogar die Spaltung der antiklinalen Zellenreihen gegen außen noch wahrzunehmen, die durch das subdichotome Wachstum des Hypothalliums zustande kommt.[3]

Die an den meisten unserer »bryozoënähnlich« erhaltenen Nulliporenschnitte ermittelten Maßverhältnisse, wie die Breite der röhrenartig erscheinenden antiklinalen Zellenreihen (= Zellenbreite) und die Entfernung zweier aufeinander folgender, bödenähnlicher Periklinalzellwände (= Zellenlänge) entsprechen gut den an den »normal« konservierten Schnitten von *Lithothamnium torulosum* Gümb. angetroffenen, wodurch ihre Zuweisung zu dieser Spezies ermöglicht wird (vgl. Taf. I, Fig. 8 und 10 mit Taf. I, Fig. 3 und 4). Einzelne, anscheinend etwas gröber gebaute Schnitte des gleichen Erhaltungszustandes dürften dagegen wohl zu *Lithothamnium nummuliticum* Gümb. gehören.

Da die Zellenbreite unserer derartig konservierten Ästchen hinter der Zoöcienweite selbst der kleinsten bekanntgewordenen Trepostomen — den von O. Haas in den Zlambachschichten entdeckten Zwergformen — um ein Mehrfaches zurückbleibt[4], ist hierdurch trotz aller scheinbaren struktuellen Ähnlichkeit ihrer Verwechslung mit derartigen Bryozoënstöckchen sicher vorgebeugt.

Im Querschnitt (Taf. I, Fig. 9, 10) erscheinen die Zellen der beschriebenen Ästchen infolge ihrer beim Fossilationsprozeß verdickten Wandungen rundlich oder subpolygonal[5] und erinnern so an den von Gümbel (l. c., Taf. I, Fig. *a*) abgebildeten Horizontalschnitt durch ein nicht entkalktes *Lithothamnium lichenoides* Dcs.

---

[1] Die Fiederstellung der Zoöcien von *Stenopora* und *Monticulipora* zeigen die Abbildungen in den beiden Werken von H. A. Nicholson: On the structure and affinities of the »Tabulate Corals« of the palaeozoic period. Edinburgh and London 1879, und: On the structure and affinities of the genus *Monticulipora* and its subgenera. Edinburgh and London 1881.

[2] Vgl. über das Wesen dieser »Symmetrielinie« Früh, l. c., p. 5. S. Rosanoff hat sie in seinen »Recherches anatomiques sur les Mélobésiées« (Mém. de la Soc. impér. des scienc. nat. de Cherbourg, tome XII, Paris—Cherbourg 1866, p. 26), folgendermaßen charakterisiert: »C'est ainsi que nous désignerons la ligne idéale qui comprend toutes les parties des séries cellulaires qui sont parallèles à la surface de la fronde• Elle divise la coupe perpendiculaire en deux parties symétriques; sa position est quelquefois au milieu de l'épaisseur de la fronde, d'autres fois elle est plus ou moins rapprochée de la surface inférieure«.

[3] Rothpletz kennzeichnet dasselbe (l. c., p. 306) folgendermaßen: »Die Zellen dieses Gewebes vermehren sich nicht nur durch Querteilung, sondern auch durch die von Bornet so benannte» Subdichotomie«. Das Hypothallium stellt deshalb Bündel von wiederholt dichotom sich verzweigender Zellfäden dar, die seitiich untereinander fest zusammengefügt sind und dadurch das Aussehen eines parenchymatischen Gewebes erlangen. Durch diese Art der Zellvermehrung allein wird der Thallus bei gleichbleibender Zellenbreite zu einem geschlossenen, allseitig peripherischen Wachstum in den Stand gesetzt.«

[4] Die Breite eines Polypidröhrchens samt zugehörigem Wandanteil beträgt bei diesen von O. Haas (l. c., p. 159 bis 161, Taf. VI, Fig. 6 bis 9) als *Monticulipora?* nov. spec. und *Stenopora?* nov. spec. beschriebenen Zlambachformen etwa 40 bis 50 μ, hingegen nach Nicholson's Figuren (l. c.) bei der silurischen *Monticulipora subpulchella* Nich. zirka 180 μ und bei der permocarbonischen *Stenopora ovata* Lonsd. sogar zirka 680 μ, weshalb auch Haas seine Fossilien im Gegensatze zu diesen relativ großröhrigen, paläozoischen Monticuliporiden, die damals von den meisten Systematikern als eine Familie der tabulaten Korallen betrachtet wurden, als **„Microtabulaten“** bezeichnet hat. Nachdem gegenwärtig aber namentlich auf Grund der Untersuchungen von E. O. Ulrich, R. S. Bassler und E. R. Cumings die Moostiernatur dieser merkwürdigen Familie fast allgemein anerkannt wird, die man nun zur Bryozoënunterordnung der *Trepostomata* Ulr. rechnet (vgl. K. A. v. Zittel-F. Broili, Grundzüge der Paläontologie [Paläozoologie], I. Abt. Invertebrata, 4. verb. u. verm. Auflg. [München u. Berlin 1915], p. 280), wäre Haas' Terminus **„Microtabulata“** richtiger durch **„Microtrepostomata“** zu ersetzen, falls man überhaupt an einer gemeinsamen Bezeichnung für diese Zwergformen festhalten will.

[5] Nicht scharfpolygonal, wie sie uns in »normal« erhaltenen Querschnitten entgegenzutreten pflegen (vgl. unsere Abbildung von *Lithothamnium torulosum* Gümb. (Taf. I, Fig. 4).

Das Innere unserer »bryozoënähnlichen« Schnitte ist oft von unregelmäßigen, mit dunkler Substanz ausgefüllten Löchern oder Gängen durchzogen, welche die Weite mehrerer antiklinaler Zellenreihen besitzen (vgl. Taf. I, Fig. 8) und vermutlich von Bohrschwämmen (*Vioa* oder *Cliona*) ausgefressen worden sind.[1]

Häufig sieht man ferner in den untersuchten Schnitten (vgl. Taf. I, Fig. 7) kleine, meist wie dunkle Punkte erscheinende, limonitische Erzkörnchen, die sich nicht selten zonar entlang einzelner antiklinaler Zellenreihen oder innerhalb von deren Lumen bei der Infiltration angesiedelt haben.

Unseren »bryozoënähnlich« erhaltenen Lithothamnienschnitten scheinen mir auch zwei astförmige Sektionen zu entsprechen, die in unlängst von P. L. Prever[2] veröffentlichten Mikrophotogrammen eozäner Nummuliten- und Orbitoidengesteine aus dem oberen Talgebiete des Aniene (östlich von Rom) enthalten sind. In einer Abbildung (Prever, l. c., Taf. X, Fig. 3) gewahrt man zwischen den beiden ihr eingeschriebenen weißen Ziffern 76 und 120 den Längsschnitt eines oblong-walzenförmigen Ästchens, dessen Länge zirka 2·5 *mm* und dessen maximale Breite zirka 0·44 *mm* beträgt. In einer zweiten Figur (l. c., Taf. X, Fig. 10) findet sich zwischen der weißen Ziffer 119 und dem linken Rande der Abbildung ein etwas bogig gekrümmter Astlängsschnitt von zirka 5·6 *mm* Länge und 0·93 *mm* Breite. Die feinere Struktur scheint in beiden Fällen, soweit es die relativ schwache (7·5 fache) Vergrößerung der Bilder zu erkennen gestattet, mit der unserer Schnitte übereinzustimmen. Völlige Gewißheit darüber ließe sich allerdings erst bei der Betrachtung der Prever'schen Originalschliffe gewinnen.

Unter den Lithothamnienarten des Kirchberger Eozäns, welche F. Toula[3] an die von F. Unger[4] abgebildeten Arten *Lithothamnium crassum* Phil. und *L. romosissimum* Rss. erinnerten, sind, wie unsere Kirchberger Schliffe zeigen, jedenfalls die beiden auch bei Wimpassing häufigen Eozänspezies *L. torulosum* Gümb. und *L. nummuliticum* Gümb. zu verstehen.

Lithothamnium torulosum ist zusammen mit der letztgenannten Art im Eozän von Südbayern (Granitmarmor und Stockletten von Kressenberg, Siegsdorf etc.) und von Mattsee sehr verbreitet und auch im Eozän der Val Sugana (Borgo), Italiens (Monte Magré im Vizentin nach Rothpletz, vielleicht Monte Cavatore bei Acqui nach Gümbel), Dalmatiens (bei Spalato) und Griechenlands (Paxos) nachgewiesen worden.

Sein Auftreten in den Oligozän-Mergeln des Thalberg-Grabens bei Traunstein (Oberbayern) ist nach A. Rothpletz ein sekundäres, da es in diese ehemalige Schlammbildung aus den nachbarlichen Eozänschichten eingeschwemmt worden ist.

Ob und welche Lithothamnienarten im Eozän von Guttaring in Kärnten vorkommen, ist aus der Literatur leider nicht zu ersehen.

Was die von E. Spengler[5] erwähnten, mit *Lithothamnium parisiense* Gümb. verglichenen Lithothamnien-Formen betrifft, die sich bei Gosau in den über den Nierentaler Mergeln (Maestrichtien) liegenden konglomeratischen Schichten finden und diesen eine große Ähnlichkeit mit dem eozänen bayerischen Granitmarmor verleihen, so bin ich von ihrer Zugehörigkeit zu der ebenerwähnten, aus dem Danien des Pariser Beckens bekannt gewordenen Spezies nicht recht überzeugt, sondern möchte ihren Anschluß an *Lithothamnium torulosum* Gümb. für möglich halten. Spengler, der selbst die weitgehende Übereinstimmung der Zellengröße von seinen Exemplaren mit *Lithothamnium torulosum* Gümb. konstatierte, nahm wegen der schlankästchenförmigen Gestalt davon Abstand, sie mit dem

---

[1] Analoge Bohrkanäle erwähnt auch Früh, l. c., p. 22.

[2] P. L. Prever, La fauna a Nummuliti e ad Orbitoidi dei terreni terziarii dell'alta valle dell'Aniene. Mem. per. serv. alla descr. della carta geol. d'Italia. Vol. V, parte seconda (Roma 1912).

[3] Über Orbitoiden und Nummuliten führende Kalke vom »Goldberg« bei Kirchberg am Wechsel, p. 126.

[4] Beiträge zur näheren Kenntnis des Leithakalkes. Denkschr. d. kais. Akad. d. Wiss. in Wien, math.-nat. Kl., 14. Bd., p. 18 ff., Taf. V.

[5] Untersuchungen über die tektonische Stellung der Gosauschichten. II. Teil. Das Becken von Gosau, p. 22 bis 23.

nach seiner Meinung ausschließlich knollig entwickelten *L. torulosum* Gümb. zu identifizieren. Dieses Gegenargument scheint mir aber ohne Belang zu sein, da ich ja in meinen Schliffen auch längliche Ästchen von *Lithothamnium torulosum* sehen konnte. »Eine endgültige Entscheidung kann« allerdings, wie auch Spengler (l. c., p. 23) mit Recht betont, »nur die Untersuchung eines größeren Materials, in welchem sich wohl auch fertile Stücke finden werden, und die Revision aller Gümbel'schen Arten bringen.« Fiele eine solche aber zugunsten unserer Vermutung aus, so wäre damit offenbar eine Stütze für das auch von Spengler erwogene Vorhandensein von Eozän im Hangenden der Nierentaler Mergel bei Gosau gewonnen.

Lithothamnium nummuliticum Gümb.

(Taf. II, Fig. 1.)

1871. *Lithothamnium nummuliticum* C. W. Gümbel, Die sogenannten Nulliporen etc. I. Teil (*Lithothamnium*). Abhdl. d. k. bayer. Akad. d. W., II. Kl., XI. Bd., I. Abt., p. 27, Taf. I, Fig. 2 *a*—*e*.

1890. *Lithothamnium nummuliticum* J. Früh, Zur Kenntnis der gesteinbildenden Algen der Schweizer Alpen. Abhdl. d. schweiz. pal. Ges. Vol. XVII (1890), p. 17 bis 19, Taf. Fig. 1, 5 bis 15, 18.

1891. *Lithothamnium* (*Archaeolithothamnium*) *nummuliticum* A. Rothpletz, Fossile Kalkalgen aus den Familien der Codiaceen und der Corallineen. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Ges., 43. Bd. (1891), p. 303, 310 u. 316, Taf. XVII, Fig. 5.

1901. *Lithothamnium nummuliticum* A. Martelli, Fossili di Paxos e Antipaxos, p. 434, Taf. VII, Fig. 13.

1902. *Lithothamnium nummuliticum* A. Martelli, Fossili di terreni eocenici di Spalato, p. 97.

1912. *Lithothamnium nummuliticum* P. Oppenheim, Neue Beiträge zur Eozänfauna Bosniens. Beitr. z. Pal. u. Geol. Öst.-Ung. u. d. Or., Bd. XXV (1912), p. 90, Taf. XI, Fig. 11 bis 13, Taf. XIV, Fig. 11 u. Textfig. 1.

In den meisten der von uns untersuchten Dünnschliffe des Radstädter, Kirchberger und Wimpassinger Eozäns finden sich als stete Begleiter der vorigen Art, aber an Häufigkeit und Güte der Erhaltung entschieden hinter ihr zurückstehend, Fragmente von *Lithothamnium nummuliticum* Gümb.

Zum Teil sind es kleine, unregelmäßig zerfetzte Bruchstücke vom gleichen Erhaltungszustand, der vorhin bei *L. torulosum* als der »normale« geschildert worden ist und nach J. Früh (l. c., p. 9) auch den gewöhnlichen der schweizerischen Eozän-Lithothamnien darstellt. Im durchfallenden Lichte heben sich die ein scharfes und geradliniges Gitterwerk bildenden Zellwände, die übrigens in den Kirchberger Schliffen häufig durch Limonitinfiltration gelbbraun geworden sind, dunkel von den durch sie umschlossenen, oft von Calcitsubstanz erfüllten Zellenlumen ab.

Die Breite der einzelnen, im Längsschnitt rechteckigen Zellen beträgt meist 11 bis 18 μ, ihre Länge 15 bis 35 μ, ja im Hypothallium gelegentlich bis 50 μ, Dimensionen, welche die von Rothpletz an dieser Spezies ermittelten (Breite 10 bis 15 μ, Länge 15 bis 30 μ) zum Teil übertreffen.

Daß sich neben den »normal« erhaltenen ab und zu auch »bryozoënähnlich« konservierte Reste finden, die auf *Lithothamnium nummuliticum* Gümb. zu beziehen sein dürften, ist bereits früher (p. 47) [217] bemerkt worden.

Besondere Erwähnung verdient das nicht selten so wie bei *Lithothamnium torulosum* beobachtete Vorkommen schmaler, aus fast nur mehr oder überhaupt bloß aus zwei Zellenreihen bestehender Fragmente (Taf. II, Fig. 1) deshalb, weil sie uns zur Deutung der im Folgenden (p. 50 [220]) beschriebenen biserialen und an fiedernervige Laubblättchen erinnernden Gebilde als vermutliche Lithothamnien-Reste geführt haben.

Die bei *Lithothamnium nummuliticum* Gümb. als Tetrasporangien und mitunter auch als Conceptakeln entwickelten Fortpflanzungsorgane, auf Grund welcher Rothpletz die Art seinem Genus (Subgenus) *Archaeolithothamnium* zuteilt, konnte ich in meinem Schliffmaterial nicht beobachten.

Die weite Verbreitung dieser Spezies in den Nummuliten führenden Eozänablagerungen des Mediterrangebietes ist zuerst von Gümbel erkannt worden, der ihr Vorkommen von den Pyrenäen bis nach Ostasien vermutete. Mit Sicherheit ist sie außer an unseren drei Fundorten im Eozän der Schweizer Alpen, Südbayerns (im Granitmarmor und Stockletten der Umgebung von Kressenberg), von Mattsee, der Westkarpathen [1], der Val Sugana (Borgo), Italiens (Vizentin), Dalmatiens (bei Spalato), der nordbosnischen Flyschzone (Medjidja), Griechenlands (Paxos), der Krim (Feodosia) [2] und Neukaledoniens [3] nachgewiesen worden.

Lithothamnium (?) spec.

(Taf. II, Fig. 2, 3.)

Als Begleiter von *Lithothamnium torulosum* Gümb. und *L. nummuliticum* Gümb. finden sich in einer größeren Anzahl unserer Schliffe von Radstadt (Schliff Nr. 5, 10, 14, 15, 20, 22, 25, 29, 32), Kirchberg (Schliff Nr. 38, V) und Wimpassing (Schliff Nr. 36, 37, III, IV) schmale, längliche Gebilde, welche aus zwei Reihen vorwiegend rhombisch erscheinender Zellenschnitte bestehen, die durch eine geradlinige oder leicht gebogene Mittelachse voneinander getrennt werden.

Beim ersten Anblick meint man ein Bild von fiedernervigen, racemösen Laubblättchen vor sich zu haben, von deren spindelartigem Mittelnerv schräg Seitennerven abzweigen. Denn so scheinen in unseren Schnitten die zwischen den einzelnen Zellen einer Reihe gelegenen, deutlich markierten Querwändchen beiderseits von der Medianachse abzuzweigen, wobei die einander gegenüberliegenden entweder genau am gleichen Punkte derselben oder aber in etwas abweichender Höhe an ihr entspringen.

Bei genauerem Zusehen erkennt man aber — wenigstens an günstig erhaltenen Schnitten (vgl. Taf. II, Fig. 3) — außer diesen Seitenästchen zumeist mehr undeutliche, einigermaßen verschwommen erscheinende Linien, welche sozusagen die direkte oder ein wenig an der Mittelachse verschobene Fortsetzung der ersteren innerhalb der anderen Zellenreihe bilden. Durch ihr Zusammentreffen mit den besser sichtbaren Seitenästchen derselben Zellenreihe kommen hier dreieckige und rhombische Schnittzeichnungen zustande, deren Entstehung, wie später gezeigt wird, in einer schrägen Durchschneidung zweier Reihen von parallelepipedischen Zellen eine leichte Erklärung findet. [4]

Mitunter kann die Mittelachse an den Ansatzstellen der Seitenlinien eine geringfügige Ablenkung aus ihrer generellen Richtung erfahren, so daß sie dann gewissermaßen einen eben nur angedeuteten und bloß bei stärkerer Vergrößerung erkennbaren, zickzackartigen Verlauf nimmt.

Neben den vorherrschenden Schnittbildern, in denen die Mittellinie die Seitenästchen an Stärke ein wenig übertrifft, kommen auch solche vor, die die gleiche Dicke (1 bis 3 μ) bei beiden wahrnehmen lassen.

Wenn die unsere biserialen Schnitte an ihrer Längsperipherie begrenzenden, mit der Mittelachse beiläufig gleichstarken und parallelen Wandlinien, wie häufig der Fall, fehlen, also nicht mehr erhalten sind, so heben sich jene hier ohne besonders scharfe Grenzen meist nur durch ihren etwas grauen Färbungston von dem sie einschließenden Gestein ab.

Die hiermit charakterisierten Gebilde, die ihrer Natur nach zunächst einigermaßen problematisch erscheinen und manchen durch ihre biserial-kammerige Form und ihre Dimensionen etwa an Foraminiferen aus der Familie der *Textularidae* erinnern könnten, dürften sich vielleicht am besten als schräge Durchschnitte durch zwei Reihen von parallelepipedischen Melobesiaceen-, und zwar vermutlich Lithothamnien-Zellen deuten lassen.

---

[1] Vgl. V. Uhlig, Mikrofauna der westgalizischen Karpathen, p. 160.

[2] Vgl. P. Oppenheim, l. c., p. 92.

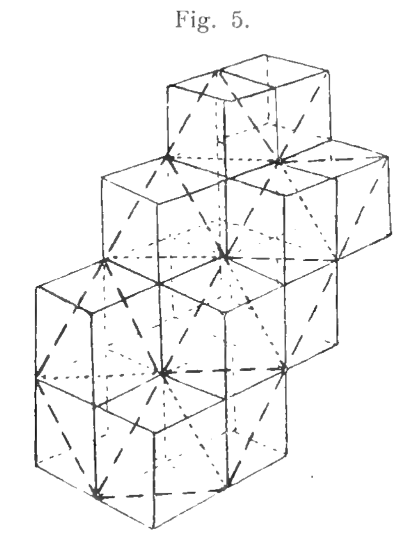
[3] Vgl. J. Déprat, Les Dépots éocènes Néo-Caledoniens. Bull. de la Soc. géol. de France, 4. sér., tom. V (1905), p. 489, 491, 492.

[4] Und zwar in einer die Seitenflächen der parallelepipedischen Zellen diagonal oder ungefähr so durchsetzenden Sektion.

Während diese im Hypothallium gewöhnlich die Gestalt von Prismen mit polygonaler Grundfläche besitzen, die sich im Querschnitt als Fünf-, Sechs- oder Siebenecke darstellen, besteht das Perithallium-Gewebe der Lithothamnien, wie seine meist rektangulären Zellenschnitte[1] zeigen, aus parallelepipedischen Zellen mit in der Regel rechteckigen oder quadratischen Seitenflächen. Rothpletz[2] hat diesen Bauplan der Rindenschichte folgendermaßen gekennzeichnet: »Es tritt jetzt zunächst nur noch Zellvermehrung durch Querteilung ein, und zwar in jeder Zellreihe gleichzeitig, so daß das das ganze Gewebe gewissermaßen durch drei Systeme rechtwinkelig sich kreuzender Wände, in Zellen abgeteilt, erscheint.«

Denken wir uns nun zwei nebeneinander aufgebaute Reihen von derartigen, in der beigefügten Skizze (Textfig. 5) der Einfachheit halber kubisch gezeichneten Zellen im Sinne einer Oktaederfläche schräg durchschnitten, so wird auf dieser eine Schnittfigur entstehen (vgl. die gestrichelten Linien der Abbildung), die unseren biserialen Gebilden gut entspricht: Zwischen einer langen Medianlinie und den beiden mit ihr parallelen, seitlichen Längslinien, die zusammen die Durchschnitte eines der

Fig. 5.



Schräg-(Oktaeder-)Schnitt durch zwei Reihen parallelepipedischer (kubischer) Perithallium-Zellen von *Lithothamnium*.

drei zueinander senkrechten Zellwandsysteme darstellen, ordnen sich die durch die Intersektion mit den zwei anderen Wandsystemen gebildeten kurzen Seitenlinien schräg und sich unter 60° durchkreuzend an. Ist von den Trassen der beiderlei kurzen Querlinien in jeder Zellenreihe nur die eine, zum Beispiel die obere Hälfte deutlich sichtbar, so kommen die schieffiedernervigen Blättchen vergleichbaren Schnittfiguren zustande.

Aus einer leichten gegenseitigen Schrägverschiebung der beiden Würfelreihen entlang ihrer Grenzfläche — mit anderen Worten, aus dem nicht durchlaufenden, sondern an einer vertikalen Wandflucht absätzigen Wachstum der anderen Zellwandsysteme — läßt sich auch das mitunter beobachtete, in differenter Höhe an der Medianachse stattfindende Ansetzen der einander gegenüberliegenden Seitenästchen unschwer erklären.

Die in unseren Schnitten senkrecht zur Medianachse gemessene Breite einer jeden der beiden Zellenreihen schwankt zwischen ungefähr 40 und 65 μ, beträgt aber gewöhnlich zirka 56 μ. Die Länge der einzelnen von der Mittellinie zur Längsperipherie laufenden fiederigen Seitenästchen, von denen der längste mir vorliegende Schnitt (vgl. Taf. II, Fig. 2) jederseits 18 zeigt, wechselt zwischen etwa 45 und 75 μ. Ihr am häufigsten angetroffener Durchschnittswert ist zirka 64 μ. Aus diesen Dimensionen läßt sich unter der Voraussetzung kubischer Zellform die Länge einer Zellenkante mit 32 bis 53 und im Mittel mit zirka 45 μ berechnen. Wäre die Zellengestalt nicht die eines Würfels sondern eines rechtwinkeligen Parallelepipeds von doppelt so großer Länge als Breite, so würde für

[1] J. Früh (l. c., p. 13) erwähnt an einem Querschnitt durch einen walzenförmigen Lithothamnien-Zweig »zu äußerst die Rinde mit rechteckigen oder quadratischen Elementen«.

[2] L. c., p. 307.

die drei angegebenen Längenwerte der Seitenästchen die Zellenbreite zur Zellenlänge in den Verhältnissen von 20 μ : 40 μ, 28·5 μ : 57 μ und 33·5 μ : 67 μ stehen, Dimensionen, die uns zur Ansicht führen, daß die untersuchten Schnitte entweder von verhältnismäßig sehr großzelligen Perithallium-Fragmenten des *Lithothamnium nummuliticum* Gümb. stammen [1] oder, wie fast wahrscheinlicher, von einer eigenen Spezies, die durch ihre außerordentliche Zellengröße an das aus der Oberkreide von Essen bekannt gewordene *Lithothamnium Goldfussi* Gümb.[2] oder das im Pliozän von Parma auftretende *Lithothamnium asperulum* Gümb. [3] erinnern würde.

Als weitere Stütze für die Lithothamnien-Natur unserer biserialen Schnitte möge auch der Erhaltungszustand ihrer Zellwände dienen, die durch ihr im durchfallenden Lichte dunkles Aussehen völlig denen typisch erhaltener Reste von *Lithothamnium nummuliticum* und *L. torulosum* gleichen und in den Kirchberger Schliffen auch oft dieselbe limonitische Verfärbung wie bei diesen Arten erkennen lassen.

Auch das zuweilen beobachtete Auftreten aus nur zwei Zellenreihen bestehender und in gewissem Grade ähnlich gestalteter Fragmente der beiden eben genannten Lithothamnien-Spezies (vgl. Taf. II, Fig. 1) spricht zugunsten jener Deutung.

Foraminifera.

Familie: **Lituolidae** Brady.

Rheophax spec.

Zu dieser in allen Meeren und Tiefen auftretenden Gattung rechnen wir einen im Wimpassinger Schliff Nr. III sichtbaren Längsschnitt durch ein grobsandiges, unten abgeschlossenes Röhrchen von 2·3 *mm* Länge und 0·6 *mm* Breite. Von der Wand springen viele unregelmäßige Vorragungen gegen das Lumen vor, die ihm eine buchtige Gestalt verleihen.

Eine nähere Bestimmung erscheint ausgeschlossen.

Haplophragmium spec.

Die kosmopolitische und in allen Meerestiefen lebende Gattung *Haplophragmium* wird durch ein paar im Radstädter Schliff Nr. 26 und im Wimpassinger Schliff Nr. IV enthaltene, 0·6 bis 1·2 *mm* breite Schnitte vertreten, deren grobsandig-agglutinierende, dickwandige Schälchen durch gleich gebaute Quersepten in einige Kammern zerlegt werden.

Dem von Gümbel [4] aus dem Kressenberger Eozän beschriebenen *Haplophragmium tuba* Gümb. scheinen sie uns nicht anzugehören.

Familie: **Miliolidae** Carp.

Orbitolites cf. **complanata** Lam. spec.

(Taf. II, Fig. 4 bis 6.)

cf. 1853. *Orbitolites complanata* D'Archiac et J. Haime, Description des animaux foss. du groupe numm. de l'Inde, p. 350, Taf. XXXVI, Fig. 19, *a*, *b* (cum synonymis).

---

[1] Bei den in unserem Schliffmaterial beobachteten sicheren Schnitten von *Lithothamnium nummuliticum* Gümb. schwankt die Zellenbreite zwischen zirka 11 und 18 μ und die Zellenlänge zwischen 15 und 35 μ.

[2] Vgl. C. W. Gümbel, Die sogenannten Nulliporen. II. Teil, Abhandl. d. k. bayer. Akad. d. W., II. Kl., XI. Bd., I. Abt., p. 285), wo die durchschnittliche Zellenbreite dieser Art mit 24 μ und die Zellenlänge mit 70 μ angegeben wird; vgl. auch Rothpletz, l. c., p. 304 u. 306.

[3] Nach C. W. Gümbel (Die sogenannten Nulliporen. I. Teil, l. c., p. 45) zeigen die Längenschnitte dieser Art große, lange und schmale Zellendurchschnitte von 25 μ Breite und 75 μ Länge; vgl. auch Rothpletz, l. c., p. 303 u. 306.

[4] C. W. Gümbel, Foraminiferenfauna der nordalpinen Eozängebilde, p. 22, Taf. I, Fig. 1.

1882. *Orbitolites complanata* M. Terquem, Foraminifères de l'eocène de Paris, p. 125.
1884. — — K. A. Penecke, Eozän des Krappfeldes, p. 21.
1901. — — A. Martelli, Fossili di Paxos e Antipaxos, p. 415; ? Taf. VII, Fig. 4.
1902. — — H. Douvillé, Revision des Orbitolites, p. 296, Fig. 6.
1902. — — H. Douvillé, Distribution des Orbitolites et des Orbitoides, p. 312.
1909. — — R. Schubert, Führer durch Dalmatien, p. 16 u. 35.
1912. — — R. Schubert, Nördliche Adria, p. 12, Fig. 5 (p. 11), Fig. 31 (p. 149).

Den in Schubert's Dünnschliffbildern (1912, l. c.) dargestellten Schnitten von *Orbitolites complanata* Lam. gleichen ein paar in unserem Radstädter Schliff Nr. 28 enthaltene Schnitte von 1 bis 1·6 *mm* Länge und 0·17 bis 0·3 *mm* Breite hinsichtlich ihrer allgemeinen Form und dem wellig-zackigen Verlauf der Wände, weshalb wir sie trotz der fragmentären Beschaffenheit an diese Art anschließen möchten.

Auch einige von 2·5 bis über 4 *mm* lange und etwa 0·12 bis 0·25 *mm* breite Querschnitte in den Radstädter Schliffen Nr. 6, 19, 26 und 30 dürften hierher gehören. Bei flüchtiger Betrachtung könnte man sie für Längsschnitte von schmalröhrenförmigen Schälchen mit längeren und kürzeren, zum Teil durch unregelmäßige Zwischenbrücken mit einander verbundenen Querwänden halten (Taf. II, Fig. 6). In der Mitte eines derselben (Taf. II, Fig. 5) erkennt man eine, allerdings etwas verschwommen aussehende Zentralkammer.

Endlich sei noch eines 3·7 *mm* langen, in der Mitte und an den beiden Enden verdünnten und dazwischen zirka 0·5 *mm* dicken Querschnittes im Radstädter Schliff Nr. 28 gedacht (Taf. II, Fig. 4), der eine gewisse habituelle Ähnlichkeit mit den von Verbeek, Schubert und Rutten abgebildeten [1] Transversalschnitten der im Oligozän und Alt-Miozän des malayischen Archipels auftretenden Spezies *Orbitolites (Sorites) Martini* Verb. — einer nahen Verwandten der rezenten *O. (Sorites) marginalis* Lam. — aufweist. Gleichwohl dürfte aber auch er an *Orbitolites complanata* anzureihen sein.

Die wegen ihrer äußeren Ähnlichkeit mit dieser Eozän-Art von vielen (so von Carpenter, Brady, Egger und Chapman) identifizierte, lebende Seichtwasserform ist davon nach H. Douvillé als *Orbitolites (Marginopora) vertebralis* Quoy et Gaim.[2] getrennt zu halten, zu der Schubert[3] auch die von C. Schwager aus der libyschen Stufe Ägyptens beschriebene *Orbitolites* cf. *complanata* rechnet.

Typische Vertreter von *Orbitolites complanata* sind bisher im Eozän Englands (Mittel-Eozän von Hampshire), Belgiens, Frankreichs (Mittel-Eozän des Pariser und Ober-Eozän des Bordeauxer Beckens), des Thunerseegebietes in der Schweiz[4], des Krappfeldes in Kärnten, Istriens und Dalmatiens (Mittel-Eozän), Griechenlands (Paxos) und Indiens (Scinde) festgestellt worden.

Alveolina oblonga d'Orb.

(Taf. II, Fig. 7 bis 9.)

1868. *Alveolina oblonga* C. W. Gümbel, Foraminiferenfauna der nordalpinen Eozängebilde, p. 27, Taf. I, Fig. 6.
1883. — cf. *oblonga* C. Schwager, Foraminiferen der libyschen Wüste und Ägyptens, p. 99, Taf. XXV, Fig. 5, *a* bis *e*.

---

[1] Vgl. R. D. M. Verbeek et R. Fennema, Java et Madoura, p. 1159, Taf. IX, Fig. 134 bis 135; R. J. Schubert, Foraminiferen des Bismarckarchipels, p. 129, Taf. IV, Fig. 3; L. Rutten, Foraminiferenführende Gesteine von Niederländisch Neu-Guinea, p. 45, Taf. VIII, Fig. 4.

[2] H. Douvillé, Revision des Orbitolites, p. 294 bis 296. Wie hier bemerkt wird, lebt diese benthonische Art in geringen Tiefen (bis zirka 800 *m*) der Tropen- und Subtropenmeere und an den Korallenriffen des pazifischen Ozeans.

[3] R. J. Schubert, Foraminiferen des Bismarckarchipels, p. 130.

[4] Vgl. Arn. Heim, Nummuliten- und Flyschbildungen der Schweizeralpen, p. 208.

1905. *Alveolina* cf. *oblonga* G. Checchia-Rispoli, Alcune Alveoline della Sicilia, p. 158, Taf. XII, Fig. 6 bis 7.

1909. — *oblonga* G. Checchia-Rispoli, Nuova contribuzione alla conoscenza delle Alveoline della Sicilia, p. 62, Taf. III, Fig. 4 (cum synonymis).

1909. — *bulloides* d'Orb. var. *sphaeroidea oblonga* G. Osimo, Studio critico sul genere Alveolina, p. 90, Taf. VI, Fig. 23, Taf. VII, Fig. 1 bis 10 (cum parte synonymorum).

? 1913. — cf. *oblonga* G. Checchia-Rispoli, Foraminiferi di S. Marco la Catola, p. 108, Taf. V, Fig. 6.

Schnitte von Alveolinen, die, soweit als sie für eine nähere Bestimmung geeignet sind, nach unserem Dafürhalten der Spezies *Alveolina oblonga* d'Orb. zugehören, finden sich in den Radstädter Schliffen[1] Nr. 6 bis 10, 18, 20, 22, 26, 28, 30 und in den Wimpassinger Schliffen Nr. III und IV. Im Kirchberger Eozän sind sie bisher noch nicht festgestellt worden.

Die Gehäuse zeigen den bei diesem Genus gewöhnlich beobachteten Erhaltungszustand, bei welchem sich im durchfallenden Lichte die hell erscheinenden Kammer-Lumina kontrastvoll von der dunkel aussehenden, sehr dichten[2] Schalensubstanz abheben, während im auffallenden Lichte so wie bei Anschliffen das umgekehrte Verhältnis gilt.[3]

Bevor wir auf die nähere Betrachtung der untersuchten Schliffe eingehen, mögen einige Bemerkungen über die Schnittbilder von Alveolinen im allgemeinen gemacht werden. Schnitte, welche mit der Aufrollungsachse der Alveolinengehäuse parallel laufen, bezeichnen Carpenter und Schwager als Longitudinal- oder Längsschnitte und O. Altpeter[4], der sich an die von Staff für Fusulinenschalen getroffene Terminologie anschließt, worin wir ihm folgen wollen, als Tangentialschnitte. Ein Schnitt, der die Aufrollungsachse senkrecht trifft, heißt bei Carpenter, Schwager und Checchia-Rispoli (1909 und 1913) Transversal- oder Querschnitt und bei Altpeter Sagittalschnitt.

Schnitte, welche die Zentralkammer halbieren, nennt Altpeter zentrale und schief gegen die Aufrollungsachse geneigte diagonale. Die beiden für ein Alveolinengehäuse besonders charakteristischen Hauptschnittlagen sind der zentrale Sagittalschnitt, den Checchia-Rispoli (1905) und Osimo als Äquatorialschnitt[5] und Altpeter als Medialschnitt bezeichnet, und der zentrale Tangentialschnitt, den Osimo Meridianschnitt, Checchia-Rispoli 1905 Meridian- oder Medianschnitt, der letztere Autor 1909 und 1913 Äquatorialschnitt[6] und Altpeter endlich Axialschnitt nennt.

Dem für die Alveolinen-Schalen bezeichnenden Bauplan gemäß, nach dem jede spätere Windung an den beiden Enden (Polen) der Aufrollungsachse über den von ihr eingehüllten vorhergehenden Umgang übergreift, sieht man in den Axialschnitten die Durchschnitte der einzelnen Windungen entlang der von der Zentralkammer halbierten Einrollungsachse in einer zickzackartigen Wellenlinie von oben und unten her aneinander stoßen. Außerhalb der Aufrollungsachse gelegene Tangential-

---

[1] Das Vorkommen dieser Alveolinen im Radstädter Eozän ist zuerst von Gümbel (Geologische Bemerkungen über die warmen Quellen von Gastein und ihre Umgebung, p. 303) erwähnt worden, der sie für ähnlich mit *Alveolina Boscii* Defr. hielt.

[2] Absolut dicht oder imperforat, wie bisher angenommen worden ist, sind aber die Alveolinenschalen nicht, da O. Altpeter kürzlich (Anatomie und Physiologie von *Alveolina*, p. 105) das Vorhandensein von Dachblattporen in besonders günstigen Schliffen durch Exemplare von Grignon feststellen konnte. Daß man dieselben so lange völlig übersehen hat, erklärt sich aus ihrer großen Feinheit und Seltenheit, ja dem gänzlichen Fehlen in manchen Umgängen.

[3] Deshalb hält wohl auch Altpeter (l. c., p. 85) die Photogramme in G. Osimo's Alveolinenstudie nicht für Abbildungen von Dünn-, sondern von Anschliffen.

[4] Altpeter, l. c., p. 86 bis 87.

[5] und [6] Doch wenden diese beiden italienischen Foraminiferenforscher in den Tafelerklärungen ihrer zitierten Abhandlungen die obigen Schnittbezeichnungen auch mitunter auf nicht mehr zentrale Sagittal-, bezüglich auf nicht ganz zentrale Tangentialschnitte oder auf solchen genäherte Diagonalschnitte an.

schnitte zeigen die durch die Spiralwand[1] voneinander getrennten und durch die aneinander gereihten rundlichen Sagittal-Lumina (Sekundärkammern)[2] gekennzeichneten Umgänge in Form konzentrischer Ellipsoide angeordnet. Gehen solche Schnitte durch Neigung gegen die Aufrollungsachse in die diagonale Lage über, so tritt an Stelle dieser konzentrischen Umgangsellipsen eine elliptische Spirale, die, je mehr sich ein derartiger Schnitt der sagittalen Orientierung nähert, der gleichmäßig anwachsenden Spiralgestalt der Sagittalschnitte desto ähnlicher wird. Je weiter die Sagittalschnitte, an denen wir die durch die schleifen- oder bogenförmigen, dem Dachblatt angehörigen Septen (Hauptsepten)[3] meist nur unvollkommen voneinander geschiedenen Hauptkammern (Umgangskammern) wahrnehmen, von der Mediallage abstehen, desto geringer wird die Zahl der in ihnen sichtbaren Spiralwindungen, da ja gleichzeitig die Anzahl der von ihnen wegen ihrer zentralen Position nicht mehr getroffenen inneren Umgänge zunimmt. Ein nahe der Oberfläche gelegener, also peripherer Tangentialschnitt (Taf. II, Fig. 9) zeigt den Umriß einer Ellipse, als deren eine (größere) Achse die Schnittlinie eines Septums (Hauptseptums)[4] erscheint, gegen welches, häufig beiderseits von ihm durch einen schmalen Hauptkanal (Septalkanal oder Galerie)[5] getrennt, die als dunkle Parallellinien erscheinenden Sagittalwände (Sekundärsepten) senkrecht gerichtet sind. Die hellen, schmalen Räume zwischen denselben entsprechen den Sagittal-Lumen (Sekundärkammern). Je nachdem in diesen peripheren Tangentialschnitten die Sagittalwände symmetrisch zu beiden Seiten des Septums angeordnet sind oder aber einer Sagittalwand auf der einen Seite ein Sagittallumen auf der anderen gegenübersteht, gehören die Schnitte dem »konstanten« oder aber dem »progressiven« Septaltypus Altpeter's[6] an.

Das Anwachsen der Einrollungsspirale des Alveolinengehäuses, welche in den Sagittalschnitten beobachtet wird, hat C. Schwager[7] durch die Maßzahlen der sogenannten »semissodistanten Radien«[8] veranschaulicht. Es sind dies die von innen gegen außen fortschreitend an einem durch den Medialschnitt gelegten Durchmesser ermittelten und abwechselnd um je einen halben Umgang (180°) voneinander abstehenden Radii vectores der Spiralwand, die vom Mittelpunkt der Anfangskammer bis zur Außenfläche der Spiral-Lumina reichen. Dieser Reihe der in Hundertelmillimetern als Einheiten[9] ausgedrückten approximativen radialen Maßzahlen setzt Schwager den Durchmesser — Checchia-Rispoli den Halbmesser — der Zentralkammer eingeklammert voran. Natürlich kann die Serie der semissodistanten Radien ebensogut wie an den Medialschnitten auch an dem kleineren Durchmesser von Axialschnitten ermittelt werden, der ja dem Betrage eines Durchmessers durch die Medialschnittspirale völlig entspricht. Unrichtig ist es natürlich, wenn Checchia-Rispoli 1905[10] bemerkt, daß sie nur am »Meridianschnitt«, als welchen er hier den Axialschnitt bezeichnet, zu messen

[1] Dieselbe besteht im allgemeinen aus dem dünnen Dachblatt und dem sich darüber ausbreitenden dickeren Basalblatt die sich auch an manchen unserer Schnitte bei starker Vergrößerung ganz gut unterscheiden lassen. Nur der Boden der auf die Zentral(Embryonal)kammer folgenden ersten Haupt(Umgangs)kammer und die Decke des zuletzt gebildeten Umganges gehören ausschließlich dem Dachblatte an (vgl. O. Altpeter, l. c., p. 93 und 104).

[2] Altpeter, l. c., p. 91 und 101 ff.

[3] Vgl. Altpeter, l. c., p. 98 ff. und seine Figuren auf p. 109 und 111.

[4] Dessen Lage auf der Schalenoberfläche durch eine sogenannte »Melonenfurche« bezeichnet wird; vgl. O. Altpeter, l. c., p. 91 und 102.

[5] Vgl. darüber C. Schwager, l. c., p. 93; wie sich diese Verhältnisse in einem Sagittalschnitt darstellen, zeigen die Abbildungen von *Alveolina javana* Verb. und *A. Wichmanni* Rutt. in L. Rutten's Studien über Foraminiferen aus Ostasien (1914), Taf. XXVII, Fig. 1 und 2.

[6] O. Altpeter, l. c., p. 101 ff. und Taf. VII.

[7] C. Schwager, l. c., p. 95 ff.

[8] Vom lat. semis, semissis = Hälfte eines zwölfteiligen Ganzen (unter welchem im vorliegenden Falle ein voller Windungsumgang von 360° zu verstehen ist) und distans = abstehend.

[9] Denn so ist es gemeint, wenn Schwager (l. c., p. 95 ff.) von 100fach vergrößerten Maßzahlen der semissodistanten Radien spricht. Tausendstel Millimeter werden demnach als erste Dezimalstelle behandelt.

[10] Checchia-Rispoli, l. c., 1905, p. 153.

seien. Seitlich von der Zentralkammer gelegene Sagittalschnitte können selbstverständlich nur semissodistante Radialwerte von verhältnismäßig späteren Umgängen liefern, aber weder die der innersten Windungen noch den der Zentralkammer.

Nach Checchia-Rispoli[1] ist das durch die Reihe der semissodistanten Radien ausgedrückte Wachstumsgesetz der Spiralwand für bestimmte Alveolinenspezies innerhalb relativ enger Grenzen konstant und demnach für deren Artdiagnose von Wert.

Nun einige Bemerkungen über unser Schliffmaterial.

Wie aus den untersuchten Tangential-Schnitten (vgl. Taf. II, Fig. 7) hervorgeht, besitzen die Radstädter Alveolinengehäuse eine mit abgestumpften Polseiten versehene, subzylindrische Gestalt, deren Längsachse zum Sagittal(Medial)durchmesser in einem Verhältnisse von etwa 3·3 : 1 bis 1·9 : 1 steht, Schwankungen, welche den aus den bisherigen Abbildungen von *Alveolina oblonga* ersichtlichen gut entsprechen.

Der subzylindrischen Gehäuseform gemäß zeigen die Umgänge im schmalen Mittelteil der Tangentialschnitte gewöhnlich[2] einen ziemlich gestreckten, nur leicht gebogenen Verlauf, der erst an den Polseiten in eine enge, zum Teil aber selbst an den Achsenenden abgeplattete Kurve übergeht.

Ein durch unseren abgebildeten Sagittal-Schnitt (Taf. II, Fig. 8) gelegter Durchmesser lieferte folgende Approximativreihe der semissodistanten Radien, ausgedrückt in Hundertelmillimetern:

...4·0, 6·7, 8·7, 9·0, 10·0, 11·7, 15·0, 17·3, 20·3, 23·3, 23·7, 28·0, 30·0, 34·7, 36·7, 40·0, 42·7, 46·7, 47·3, 51·3, 53·0.

Es entfallen hier demnach 10 Umgänge auf einen Radius von zirka 0·51 *mm*, während nach den von C. Schwager und G. Checchia-Rispoli (1905) für *Alveolina* cf. *oblonga* angeführten Serien der semissodistanten Radien die gleiche Windungszahl (10) auf eine Radialstrecke von zirka 0·73, respektive 1·2 *mm* zu liegen kommt, was einem langsameren Anwachsen der Spirallamelle als im vorliegenden Schnitte entspricht. Indessen konnten wir auch ein solches langsames Wachstum bei einigen anderen unserer Durchschnitte konstatieren.

In den äußersten Windungen beträgt die Dicke der Spiralwand, deren Dachblatt hier höchstens ein wenig durch eine Basalblattlage verstärkt worden ist, mitunter bloß 13 bis 15 μ.

Die kleinen, in den Tangentialschnitten gewöhnlich als Reihen rundlicher Löchlein erscheinenden Sagittal-Lumina (Sekundärkammern) nehmen von innen gegen außen allmählich an Größe zu. Ihre Breite wurde in verschiedenen Umgängen unserer Schnitte mit 20 bis 55 μ befunden.

Die Dicke der Sagittalwände (Sekundärsepten), welche die Teilung der Hauptkammern in die Sagittallumina bewirken, ist wohl gewissen Schwankungen unterworfen, zumeist aber geringer (10 bis 26 μ) als die Breite der letzteren.

Während sich die von Checchia-Rispoli (1905) bei *Alveolina oblonga* festgestellte beträchtlichste Schalenlänge auf 7·1 *mm*, das entsprechende Mittelmaß ausgewachsener Gehäuse auf 6 *mm* und die von Gümbel an einem südbayerischen Exemplar ermittelte Achsenlänge auf 4·7 *mm* beläuft, erreicht die größte bei den Radstädter Tangential-Schnitten angetroffene Schalenlänge nur 3·5 *mm*.

Auch einige unregelmäßig verzerrte oder gekrümmte Durchschnitte sind in unserem Schliffmaterial enthalten, wie sie ähnlich G. Osimo[3] von friaulischen Stücken dargestellt hat.

Die in den Radstädter Alveolinen-Schnitten beobachteten Zentral(Embryonal)kammern besitzen in der Regel eine etwas nach der Gehäuseachse gestreckte Ovoidalgestalt, deren beide Hauptdurchmesser bei drei Exemplaren (Schliff Nr. 10, 20, 9) die Werte von 145 μ : 120 μ, 200 μ : 155 μ und 445 μ : 380 μ ergaben.[4] In den beiden ersten Fällen handelt es sich wohl um Mikro-, im letzten aber um eine

[1] Checchia-Rispoli, l. c., 1905, p. 153.

[2] Abgesehen von den etwas unregelmäßigen und weniger in die Länge gezogenen innersten Windungen.

[3] G. Osimo, l. c., Taf. VII, Fig. 3 bis 6.

[4] Checchia-Rispoli führt (l. c., 1905, p. 153) bei einem sizilianischen Exemplare dieser Art entsprechende Zentralkammermaße von 300 μ : 240 μ an.

Makrosphäre. In einem schon fast sagittal orientierten Diagonalschnitt im Schliff Nr. 7 ist eine aus der Verwachsung zweier rundlicher Zentralkammern hervorgegangene, schöne Gigantosphäre[1] sichtbar, deren Länge 890 μ und deren Höhe 760 μ beträgt.

Im Gegensatz zu Checchia-Rispoli, der *Alveolina oblonga* d'Orb. als gute Spezies betrachtet, schließt sie Giuseppina Osimo der *Alveolina bulloides* d'Orb. nur als var. *sphaeroidea oblonga* (Fort.) an, wobei sie aber Schwager's und Checchia-Rispoli's (1905) *Alveolina* cf. *oblonga* davon ausschließt und zu *Alveolina ovoidea* d'Orb. stellt.[2] Soweit uns eigene Untersuchung wie Einblick in die Literatur ein Urteil über diese heikle Frage gestattet, möchten wir uns indessen lieber dem Standpunkte des letztgenannten Paläontologen anschließen.

Im Sinne Checchia-Rispoli's gefaßt, ist *Alveolina oblonga* (respektive *A.* cf. *oblonga*) d'Orb. bisher im Eozän von Südbayern (Kressenberg, Trauntal), Frankreich, Italien (Friaul, Vizentin, Monte Gargano, Foggia, Sizilien), Ägypten, der arabischen Wüste und Ostindiens nachgewiesen worden.[3]

Die von Penecke[4] aus dem Eozän von Guttaring angeführte *Alveolina longa* Cz. gehört nicht hierher, sondern ist mit der getreidekornförmigen und durch zugespitzte Achsenenden ausgezeichneten *Alveolina elongata* d'Orb. (= *A. granum festucae* Bosc. var. *elongata* d'Orb. bei Osimo)[5] identisch.

Die rezenten Alveolinen (*Alveolina boscii* Defr. = *A. Quoji* d'Orb. und *A. melo* Ficht. et Moll) leben nur in geringen Tiefen (0 bis zirka 73 *m*) der warmen Meere, und zwar mit Vorliebe auf Korallenriffen[6], Lebensverhältnisse, die auch für die fossilen Angehörigen dieser Gattung allgemein gegolten haben dürften. Während ihrer ins Eozän — besonders ins Mitteleozän — fallenden Blütezeit sehen wir sie so ziemlich im ganzen Verbreitungsgebiete der Nummuliten auftreten.

Miliola spec. div.

(Taf. II, Fig. 10.)

In vielen unserer Schnitte von Radstadt (Schliff Nr. 6 bis 10, 19, 20, 22, 23, 26, 28, 29, 32, 33, 35) und Wimpassing (Schliff Nr. 36, 37, III, IV) finden sich Längs- und Schrägschnitte, die sich zwar der weitgefaßten Gattung *Miliola* zuweisen lassen, jedoch für eine nähere Bestimmung, sei es als Angehörige der engeren Genera *Biloculina* oder *Miliolina* (*Triloculina* und *Quinqueloculina*) keine ausreichenden Anhaltspunkte bieten.

Die Kammerräume der Schälchen, deren Länge sich zwischen 0·2 *mm* und 1·3 *mm* hält, sind häufig durch Infiltrationen bräunlich- oder gelblichgrau verfärbt.

Die Anwesenheit von Milioliden im Kirchberger Eozän ist durch F. Karrer[7] festgestellt worden.

Biloculina bulloides d'Orb.

(Taf. II, Fig. 11.)

1868. *Biloculina bulloides* F. Karrer, Foraminiferen-Fauna von Kostej, p. 12 (cum synonymis).
1882. — — H. B. Brady, Foraminifera dredged by H. M. S. Challenger, p. 142, Taf. II, Fig. 5. bis 6 (cum synonymis).
1895. — — T. R. Jones, Foraminifera of the Crag, p. 101 (cum synonymis).
1899. — — J. M. Flint, Recent Foraminifera dredged by the Albatross, p. 293, Taf. 38, Fig. 5.
1900. — — F. Chapman, Patellina-Limestone from Egypt, p. 4 (cum synonymis).

---

1 Vgl. O. Altpeter, l. c., p. 96.

2 G. Osimo, l. c., p. 85.

3 Vgl. G. Checchia-Rispoli, l. c., 1905, p. 159.

4 K. A. Penecke, Das Eozän des Krappfeldes, p. 21.

5 G. Checchia-Rispoli, l. c., 1905, p. 160 und l. c., 1909, p. 65; G. Osimo, l. c., p. 87.

6 Vgl. J. Walther, Einführung in die Geologie als historische Wissenschaft. I. T., p. 216.

7 Vgl. F. Toula, Orbitoiden und Nummuliten führende Kalke vom »Goldberg« etc., p. 126.

1911. *Biloculina bulloides* R. Schubert, Foraminiferen des Bismarckarchipels, p. 122 (cum synonymis).
1912. — — R. M. Bagg, Foraminifera from southern California, p. 23, Taf. I, Fig. 1 bis 4, 10; Taf. II, Fig. 12 bis 14; Taf. IV, Fig. 1.

Dieser Spezies entspricht bestens ein in unserem Radstädter Schliff Nr. 28 enthaltener Querschnitt, dessen beide Hauptdurchmesser 465 und 545 μ betragen.

Das subglobose Schälchen ist durch starkgewölbte Kammern und dicke Wände (bis 47 μ) ausgezeichnet. Die Kante, mit welcher die letzte Kammer über die vorletzte übergreift, erscheint abgestumpft.

Biloculina bulloides hat im ganzen Tertiär eine weite Verbreitung. So kennt man sie aus dem Eozän von Frankreich (Pariser Becken), dem Miozän von Österreich-Ungarn (Wiener Becken, Wieliczka, Banat), Ägypten und Australien (Victoria) und dem Pliozän von England (Crag), Südkalifornien, Kar Nikobar und des Bismarckarchipels.

Gegenwärtig findet sie sich häufiger im Nord-Atlantic als in anderen Meeren und bevorzugt Tiefen von 549 bis 1830 *m*. Mitunter ist sie aber auch aus relativ seichtem Wasser gedredscht worden.

Zwei weitere, aber nicht sicher bestimmbare Biloculinen-Querschnitte mit den maximalen Durchmessern von 445, respektive 665 μ liegen in den Radstädter Schliffen Nr. 19 und 29.

Miliolina (Triloculina) tricarinata d'Orb. spec.

(Taf. II, Fig. 13.)

1867. *Triloculina tricarinata* A. E. Reuss, Fossile Fauna von Wieliczka, p. 55, Taf. 2, Fig. 4.
1868. — — F. Karrer, Foraminiferenfauna von Kostej, p. 16.
1881. — — A. Franzenau, Foraminiferen-Fauna der Rákoser Ober-Mediterran-Stufe, p. 9.
1882. *Miliolina tricarinata* H. B. Brady, Foraminifera dredged by H. M. S. Challenger, p. 165, Taf. III, Fig. 17 *a*, *b* (cum synonymis).
1888. — — H. B. Brady, W. K. Parker and T. R. Jones, Foraminifera from the Abrohlos Bank, p. 215, Taf. XL, Fig. 32.
1895. — — T. R. Jones, Foraminifera of the Crag, p. 119, Taf. III, Fig. 33 bis 34 (cum synonymis).
1900. — — F. Chapman, Foraminifera from the Lagoon at Funafuti, p. 174 (cum synonymis).
1911. — — R. Schubert, Foraminiferen des Bismarckarchipels, p. 123.
1912. — — R. M. Bagg, Foraminifera from southern California, p. 31, Taf. V, Fig. 5 *a* bis *f*, Taf. VI, Fig. 5 (cum synonymis).
1915. *Triloculina tricarinata* F. Toula, Tegel von Neudorf und seine Mikrofauna, p. 646.

Unter den uns in mehreren Dünnschliffen von Radstadt (Nr. 4, 6, 7, 9, 13, 28) und Wimpassing Nr. 36) vorliegenden *Triloculina*-Querschnitten, deren Seitenlänge zirka 330 bis 600 μ beträgt, ist nur ein einziger (Radstadt, Nr. 28) vorhanden, der eine genaue Bestimmung zuläßt.

Es handelt sich um einen dreieckigen Durchschnitt mit leicht bogenförmig geschwungenen, etwa 370 μ langen Seiten und mit scharfen Kanten, von denen zwei durch das letzte Kammersegment und die dritte durch den freien Rand des vorhergehenden gebildet werden. Die Übereinstimmung mit *Triloculina tricarinata* d'Orb. ist also eine vollkommene.

Diese heute kosmopolitisch in allen Meeren und Tiefen lebende Spezies hat sich fossil im Gault von England (Folkestone), im Eozän des Pariser und Londoner Beckens, im Miozän von Südbayern, Österreich-Ungarn (Wieliczka, Neudorf a. d. March, Rákos bei Budapest, Kostej im Banat) und Australien, im Pliozän von England (Crag), Italien und Südkalifornien wie im Quartär dieses Landes, Canadas, des Bismarckarchipels, Schwedens und Schottlands gefunden.

Miliolina (Quinqueloculina) spec.

(Taf. II, Fig. 12.)

Querschnitte von Quinqueloculinen, die aber leider keine nähere Bestimmung erlauben, sind in den Radstädter Dünnschliffen Nr. 14, 15 und 22, sowie in den Wimpassinger Schliffen Nr. III und IV enthalten. Sie weisen Durchmesser von 360 bis 950 μ auf. Oft hat das Innere ihrer Kammern durch Infiltrationen eine gelblich- oder bräunlichgraue Färbung angenommen.

Das Vorkommen von Quinqueloculinen im Kirchberger Eozän ist von F. Toula (nach einer Diagnose F. Karrer's) angegeben worden.

Die lebenden Miliolinen halten sich mit Vorliebe in den Küsten- und Flachseegebieten der gemäßigten und tropischen Breiten auf.

Familie: **Lagenidae** Carp.

Nodosaria cf. **acuminata** Hantk.

(Taf. II, Fig. 14.)

cf. 1875. *Nodosaria acuminata* M. v. Hantken, Clavulina Szabói-Schichten. I. T., p. 28, Taf. II, Fig. 9; Taf. XIII, Fig. 5.

An den von Hantken (l. c., Taf. II, Fig. 9) abgebildeten Querschnitt der in den Clavulina Szabói-Schichten (Unter-Oligozän) von Ofen nicht selten auftretenden *Nodosaria acuminata* erinnert uns lebhaft ein im Schliff Nr. 35 von Radstadt sichtbarer Querschnitt durch seine Form und Größe.

Derselbe besitzt die Gestalt eines ungefähr kreisförmigen Ringes, an dessen Peripherie 8 (gegenüber 6 bis 8 bei Hantken) den Rippen der Schale entsprechende, an ihrer Spitze ein wenig abgerundete Ecken merklich vorragen.

Während aber bei Hantken's Figur diese kostalen Ecken etwa gleichweit voneinander abstehen, sind sie auf der einen Seite unseres Schnittes enger zusammengedrängt als auf der anderen.

Den Angaben Carpenter's [1] über die Innenstruktur der Nodosarien-Schale gemäß sieht man auch an unserem Schnitt, daß die verdickten Eckteile der Schale aus dichter, homogener Substanz bestehen, wogegen die dazwischen gelegenen Partien, die eine Art konzentrischer Zuwachsschichtung zeigen, von zahlreichen, ungemein feinen Kanälchen senkrecht durchbohrt erscheinen.

An diesen Stellen beträgt die Dicke der Schale zirka 85 μ und ihr Durchmesser 470 μ. Mit Einbeziehung der kostalen Vorragungen erhöht sich der letztere auf 570 bis 580 μ. Die Lumenweite mißt zirka 300 μ.

Eine nahe Verwandte von unserer Art ist die nach Gümbel [2] häufig im südbayerischen Nummulitenmergel vorkommende *Nodosaria bacillum* Defr., welche aber mit 9 bis 12 Rippchen verziert ist.

Aus dem Kirchberger Eozän hat F. Karrer das Vorkommen von *Nodosaria*-artigen oder eventuell, wie er meint, *Clavulina*-artigen Formen erwähnt. [3]

Die heute lebenden Spezies der benthonischen Gattung *Nodosaria* leben teils in Flußästuarien, teils in der Flach- und teils in der Tiefsee. [4]

Cristellaria (Robulina?) spec.

(Taf. V, Fig. 9.)

Auf diese Gattung können wir einige in den Radstädter Schliffen Nr. 17 und 34 gelegene Querschnitte beziehen, deren größter eine Länge (Höhe) von 1·2 *mm* und eine Breite von 0·8 *mm* besitzt

---

[1] W. B. Carpenter, Introduction to the study of the Foraminifera, p. 161 bis 162.

[2] C. W. Gümbel, Foraminiferenfauna der nordalpinen Eozängebilde, p. 40, Taf. I, Fig. 30.

[3] Vgl. F. Toula, Orbitoiden und Nummuliten führende Kalke vom »Goldberg«, p. 128.

[4] Vgl. J. Walther, Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft, p. 223.

(vgl. die Figur). Durch seine scharfgekielte Form erinnert er einigermaßen an *Cristellaria crassa* d'Orb., eine Spezies, die fossil aus dem Oligozän (Septarienton) von Norddeutschland und dem Miozän Österreichs (Baden bei Wien, Wawrowitz bei Troppau) bekannt und lebend bei Kandavu (Fidschi-Inseln) aus 384 *m* Tiefe gedredscht worden ist.[1]

Mit den von C. W. Gümbel aus dem südbayerischen Eozän beschriebenen *Robulina*-Arten zeigen unsere Schnitte keine nähere Ähnlichkeit.

Familie: **Textularidae** Schultze.

Textularia spec. div.

(Taf. III, Fig. 9.)

Die in vielen unserer Dünnschliffe (Radstadt Nr. 1, 3, 5 bis 7, 9, 11 bis 15, 24 bis 31, 33; Kirchberg Nr. 39, V, IX; Wimpassing Nr. 36 bis 37, III) enthaltenen, meist durch deutlich agglutinierenden Schalenbau gekennzeichneten Textularien-Schnitte entsprechen nach ihrer wechselnden, bald ziemlich schlanken, bald relativ breiten Gestalt jedenfalls mehreren Arten, die sich u. a. teils an *Textularia sagittula* Defr. (Kreide—rezent), teils an *T. agglutinans* d'Orb. (Eozän-rezent), teils an *T. gramen* d'Orb. (Miozän—rezent) anschließen, drei Spezies, die gegenwärtig als Kosmopoliten dem Benthos der Seichtsee angehören und nur selten in tiefere Meeresregionen hinabsteigen. Zu einer sicheren Identifizierung mit denselben dürften indessen die vorliegenden Schnitte, die eine Länge von 210 bis 1200 μ aufweisen, doch nicht ausreichend sein.

Die von Gümbel[2] aus dem südbayerischen Eozän (Granitmarmor von Neubeuern oder Sinning) beschriebene *Textularia flabelliformis* Gümb. konnten wir in unserem Schliffmaterial nicht erkennen.

Bolivina spec.

(Taf. III, Fig. 10.)

Zu dieser Gattung gehört ein im Radstädter Schliff Nr. 17 enthaltener Längsschnitt von zirka 670 μ Höhe und 270 μ Breite und etwas sandiger Schalenbeschaffenheit.

Seine allgemeine Form erinnert nicht wenig an die von M. Terquem[3] aus dem Eozän des Pariser Beckens beschriebene *Bolivina carinata* Tqm., läßt aber nicht den für diese bezeichnenden seitlichen Randkiel erkennen, so daß von einer Identifizierung abgesehen werden muß.

Die rezenten Bolivinen bewohnen mit Vorliebe den Boden der Flachsee, wogegen sie in größeren Meerestiefen nur selten angetroffen werden.

Familie: **Globigerinidae** Carp.

Globigerina bulloides d'Orb.

(Taf. V, Fig. 5.)

1868. *Globigerina bulloides* C. W. Gümbel, Foraminiferen der nordalpinen Eozängebilde, p. 83, Taf. II, Fig. 106 *a* bis *b*.
1868. — *alpigena* C. W. Gümbel, l. c., p. 83, Taf. II, Fig. 107 *a* bis *b*.
1868. — *eocaena* C. W. Gümbel, l. c., p. 84, Taf. II, Fig. 109 *a* bis *b*.
1879. — *bulloides* A. Andreae, Z. Kenntnis d. Elsässer Tertiärs. Taf. IX, Fig. 1 bis 2.
1884. — — H. B. Brady, Foraminifera dredged by H. M. S. Challenger, p. 593, Taf. LXXVII, LXXIX, Fig. 3 bis 7 (cum synonymis).

---

[1] Vgl. H. B. Brady, Foraminifera dredged by H. M. S. Challenger, p. 549, Taf. LXX, Fig. 1, und F. Krumpholz, Foraminiferen von Wawrowitz, p. 124.

[2] C. W. Gümbel, Foraminiferenfauna der nordalpinen Eozängebilde, p. 69, Taf. II, Fig. 83 *a*, *b*.

[3] M. Terquem, Foraminifères de l'éocène de Paris, p. 148, Taf. XXIII, Fig. 19 *a*, *b*.

1888. *Globigerina bulloides* H. B. Brady, W. K. Parker and T. R. Jones, Foraminifera from the Abrohlos Bank, p. 225, Taf. XLV, Fig. 15.
1896. — — T. R. Jones, Foraminifera of the Crag, p. 280, Taf. II, Fig. 1 bis 2 (cum synonymis).
1899. — — J. M. Flint, Recent Foraminifera dredged by Albatross, p. 321, Taf. 69, Fig. 2.
1900. — — P. Oppenheim, Priabonaschichten, p. 32.
1901. — — A. Martelli, Fossili di Paxos e Antipaxos, p. 409.
1902. — — F. Chapman, The Foraminifera, p. 205, Taf. 11, Fig. *G*, *H*, *h*.
1903. — — F. Chapman, Foraminifera from the Lagoon at Funafuti, p. 187.
1904. — — Z. Leardi-Airaghi, Foraminiferi di S. Genesio, p. 165.
1911. — — R. J. Schubert, Foraminiferen des Bismarckarchipels, p. 99.
1915. — — F. Toula, Tegel von Neudorf und seine Mikrofauna, p. 655.
1916. — — F. Krumpholz, Foraminiferen von Wawrowitz, p. 147 (cum synonymis).

Auf diese von der Unterkreide an bekannte und heute weltweit verbreitete pelagische Foraminifere (planktonische Oberflächenform) beziehe ich einige Schalendurchschnitte in Schliff Nr. 2, 4, 17 und 35 des Radstädter und in Schliff Nr. VII des Kirchberger Eozäns.

Der in Schliff Nr. 2 enthaltene größte und schönste derselben (Taf. V, Fig. 5), welcher fünf Kammern erkennen läßt, besitzt einen Gesamtdurchmesser von 420 μ und eine Wandstärke von 35 bis 40 μ, der kleinste, in Schliff Nr. VII sichtbare Schnitt mit vier Kammern ist nur 190 μ groß.

Zwischen den die Schale durchsetzenden Porenkanälen erheben sich an der Oberfläche kleine zugespitzte Knötchen.

Im Kressenberger Eozän ist *Globigerina bulloides* von Gümbel festgestellt worden.

Orbulina universa d'Orb.

1884. *Orbulina universa* H. B. Brady, Foraminifera dredged by H. M. S. Challenger, p. 608, Taf. LXXVIII; Taf. LXXXI, Fig. 8 bis 26; Taf. LXXXII, Fig. 1 bis 3 (cum synonymis).
1888. — — H. B. Brady, W. K. Parker and T. R. Jones, Foraminifera from the Abrohlos Bank, p. 225, Taf. XLV, Fig. 7, 8, 14.
1895. — — J. G. Egger, Foraminiferen von Monte Bartolomeo, p. 38, Taf. IV, Fig. 18 bis 19.
1901. — — A. Martelli, Fossili di Paxos e Antipaxos, p. 409.
1902. — — F. Chapman, The Foraminifera, p. 206, Taf. 11, Fig. *J*.
1904. — — Z. Leardi-Airaghi, Foraminiferi di S. Genesio, p. 166.
1911. — — R. J. Schubert, Foraminiferen des Bismarckarchipels, p. 103, Taf. V, Fig. 2. *O*. (cum synonymis).
1914. — — R. Jaeger, Flyschbildungen des Wienerwaldes, p. 155.
1916. — — F. Krumpholz, Foraminiferen von Wawrowitz, p. 148 (cum synonymis).

Dieser vom Lias an häufigen und in den heutigen Meeren als pelagischer Kosmopolit (planktonische Oberflächenform) erscheinenden Spezies gehören zwei kugelige Durchschnitte in den Schliffen Nr. 3 und 19 von Radstadt an, welche einen Durchmesser von 270, bezüglich 650 μ und eine Wanddicke von 26, bezüglich 40 μ besitzen. Ihre Schale ist von vielen deutlichen Poren durchsetzt, welche alle ungefähr dieselbe Weite aufweisen, während die Art sonst gewöhnlich — aber durchaus nicht immer[1] — Perforationen von zweierlei Größe zeigt. Die Schalenoberfläche ist mit kleinen, zwischen den Porenöffnungen aufragenden, zierlichen Knötchen bedeckt.

---

[1] Vgl. H. B. Brady, l. c., p. 609.

Nach neueren Forschungen bilden sich die sphärischen Orbulinengehäuse, indem Globigerinenschalen bei besonders starker Zunahme des Protoplasmas von diesem vollständig umhüllt werden, worauf dieses dann gegen außen die neue Kugelschale absetzt, im Inneren aber die Globigerinenkammern meist ganz oder teilweise resorbiert.

Familie: **Rotalidae** Carp.

Discorbina spec. div.

Die in den Schliffen Nr. 5, 6, 7, 12, 13, 20, 21, 24, 25, 27, 33 von Radstadt, Nr. VII von Kirchberg und Nr. 37 von Wimpassing enthaltenen, relativ dünnschaligen und dunkelbraungrau gefärbten Schalenquerschnitte, welche ich zu dieser Gattung rechne, besitzen eine mehr oder minder stark gewölbte Ober- und eine flache, in der Mitte meistens etwas eingetiefte Unterseite, an welcher der Schlußumgang nicht selten wie ein Flügel schräg gegen abwärts zu hängen pflegt.

Die Länge (Längsdurchmesser) der untersuchten Querschnitte, die jedenfalls einigen verschiedenen Arten angehören, schwankt zwischen 0·16 und 0·66 *mm*, ihre Breite (Höhe) zwischen 0·07 und 0·27 *mm*.

Den von C. W. Gümbel aus dem südbayerischen Eozän beschriebenen *Discorbina*-Arten (*Discorbina, Rosalina* p. p.) scheint mir keiner derselben zu entsprechen.

Die rezenten Vertreter dieser weltweit verbreiteten Gattung bewohnen vorzugsweise das Gebiet der Flachsee. Unterhalb von 200 Faden nimmt ihre Häufigkeit schon entschieden ab.

Planorbulina cf. **mediterranensis** d'Orb.

(Taf. III, Fig. 3.)

cf. 1884. *Planorbulina mediterranensis* H. B. Brady, Foraminifera dredged by H. M. S. Challenger, p. 656, Taf. XCII, Fig. 1 bis 3 (cum synonymis).
1888. — — H. B. Brady, W. K. Parker and T. R. Jones, Foraminifera from the Abrohlos Bank, p. 227, Taf. XLV, Fig. 18.
1893. — — J. G. Egger, Foraminiferen von S. M. Sch. Gazelle, p. 188, Taf. XIV, Fig. 24 bis 26.
1895. — — J. G. Egger, Foraminiferen von Monte Bartolomeo, p. 32, Taf. V, Fig. 12 *a* bis *c*, Fig. 13 *a* bis *c*.
1896. — — T. R. Jones, Foraminifera of the Crag, p. 298, Taf. II, Fig. 3, Taf. V, Fig. 30 (cum synonymis).
1901. — — F. Chapman, Foraminifera from the Lagoon at Funafuti, p. 192 (cum synonymis).
1911. — — R. J. Schubert, Foraminiferen des Bismarckarchipels, p. 108.

Der Radstädter Schliff Nr. 34 enthält einen 2·3 *mm* langen und bis 0·29 *mm* dicken Querschnitt eines Foraminiferenschälchens, das, abgesehen von seiner relativ bedeutenden Länge (Durchmesser), ziemlich gut mit *Planorbulina mediterranensis* übereinstimmt.

Seine Unterseite, mit der es offenbar aufgewachsen war, ist flach und leicht gewölbt, während die Oberseite infolge des Hervortretens der aufgeblähten und sich umgreifenden Kammern unebenlappig und in der Mitte etwas eingesenkt erscheint.

Die Kammerwände zeigen nur an der flachen Anheftungsseite deutliche Porenkanäle, so wie dies auch Egger von den durch die »Gazelle« gedredschten Exemplaren beschrieben hat.

Mit seiner Länge von 2·3 *mm* überragt unser Schnitt den bei *Planorbulina mediterranensis* gewöhnlich beobachteten Schalendurchmesser (1 *mm*) um mehr als das Doppelte.

Fossil ist diese Spezies bisher aus dem Oligozän von Elsaß, dem Miozän des Wiener Beckens und Australiens (Victoria), dem Pliozän von England (Crag), Belgien, Italien (Monte Bartolomeo am

Gardasee, Sizilien) und des Bismarckarchipels, wie aus dem Quartär von Norwegen, der britischen Inseln und von Ischia bekannt geworden.

Heute bewohnt sie namentlich die seichten Regionen der gemäßigten und tropischen Meere, wobei sie selten unter 91 *m* hinabsteigt. Die größte Tiefe, in der sie die »Challenger« angetroffen hat, betrug 2056 *m*.

Truncatulina bullata Frnzn. spec.

(Taf. III, Fig. 11, 12.)

1884. *Heterolepa bullata* A. Franzenau, Heterolepa, p. 217, Taf. V, Fig. 5 *a, b, c*, 7, 9, 11.
1884. — *praecincta* A. Franzenau, Heterolepa, p. 216, Taf. V, Fig. 4 *a, b, c*, 6, 10.

In den Dünnschliffen Nr. 16, 17, 26, 27, 28, 34, 35 von Radstadt, Nr. 38, 39, V von Kirchberg und Nr. 36, IV von Wimpassing finden sich nicht selten Quer(Vertikal)-, Schräg- und Längs(Horizontal)schnitte von ziemlich kleinen, im durchfallenden Lichte gelblichbraun gefärbten Schälchen, welche gut mit den von A. Franzenau aus dem oligozänen Untergrunde von Budapest (aus Tegeln und Mergeln des artesischen Brunnens im Budapester Stadtwäldchen) als *Heterolepa bullata* und *H. praecincta* beschriebenen Formen übereinstimmen.

Nach den an den uns vorliegenden Schnitten vorgenommenen Messungen besitzen die zierlichen Gehäuse eine Länge von zirka 0·3 bis 0·8 *mm* und eine Breite (Dicke) von 0·16 bis 0·5 *mm*. Nur an einem im Schliff Nr. 28 gelegenen Längsschnitte konnte ein Durchmesser von zirka 1·5 *mm* ermittelt werden, also eine im Verhältnis zu den anderen Schliffen extrem große Schalenlänge.

Die Querschnitte zeigen in der Regel eine flache Ober(Spiral)seite, an welcher sich nur die den Anfangswindungen entsprechende Mittelpartie buckelförmig aufzuwölben pflegt. In einzelnen Fällen erscheint allerdings infolge einer mehr gleichmäßig-flachen Wölbung der ganzen Oberseite dieser Unterschied zwischen ihrer Mitte und dem Rande in einem gewissen Grade verwischt.

Die Unter(Nabel)seite ist stark, ja zuweilen fast halbkugelförmig gewölbt. Der durch ihren Zusammenschluß mit der Spiralseite gebildete Schalenrand erscheint ziemlich scharf, also nur wenig abgerundet.

Die Schale besteht, wie dies auch schön A. Franzenau's Figuren 10 und 11 erkennen lassen, aus vielen, zarten, parallel übereinander geschichteten Lamellen, welche im Bereiche der Außenwand von geraden, deutlichen Porenkanälen durchbrochen werden. Hingegen erscheint der dickschalige Innenteil der Gehäuse gleich den Septen höchstens von ganz vereinzelten Poren durchsetzt, die hier fast ausnahmslos bei fortschreitendem Wachstum der Schälchen durch eine kallöse Substanz verschlossen worden sein dürften.[1]

Die wenigen von uns beobachteten spiralförmigen Längsschnitte (vgl. Taf. III, Fig. 12) umfassen etwa 2 bis 3 Umgänge mit je 10 bis 12 Kammern. Die 6 bis 10 μ dicken Septen, welche diese voneinander trennen, ziehen mit einem gegen vorne leicht konvexen Schwunge schräg gegen vor- und einwärts und sind an ihrem Innenende schwach knöpfchenartig verdickt. Daß ihrem von A. Franzenau und A. Andreae[2] genau studierten und zur Aufstellung einer eigenen Gattung (*Heterolepa* Frnzn., *Pseudotruncatulina* Andr.) herangezogenen Lamellenbau kein allzugroßer systematischer Wert zukommt, da er sich außer bei verschiedenen Truncatulinen in ähnlicher Weise auch bei den Geschlechtern *Carpenteria, Rupertia, Discorbina* und vielleicht auch gelegentlich bei *Rotalia*[3] findet,

---

[1] Vgl. A. Franzenau, l. c., p. 214 bis 215.

[2] A. Andreae, Zur Kenntnis des Elsässer Tertiärs, p. 213 ff.

[3] V. Uhlig erwähnt ihn (Mikrofauna der westgalizischen Karpathen, p. 173) von einer feinporösen *Rotalia*. Wenn A. Franzenau unter den durch septalen Blätterbau interessanten Formen *Rotalia propinqua* Rss. anführt (Schalenstruktur einiger Foraminiferen, p. 153, Taf. VII, Fig. 4), »deren Kammerscheidewände aus zwei porenlosen, dicht nebeneinander liegenden Lamellen gebildet sind«, so ist dies doch gerade bei einer *Rotalia* nichts absonderliches, da ja bei dieser Gattung

ist von V. Uhlig eingehend dargelegt worden [1] und veranlaßt uns, die untersuchten Schälchen dem Genus *Truncatulina* zuzuordnen.

Längsschnitte, bei denen die Poren verstopft oder samt der Blätterstruktur der Kammerscheidewände infolge des Fossilisationsprozesses undeutlich geworden sind, können leicht mit solchen von Pulvinulinen verwechselt werden, denen sie habituell außerordentlich ähnlich sehen. [2]

An einem im Schliffe Nr. 35 sichtbaren Horizontalschnitte wurde der Durchmesser einer makrosphärischen Anfangskammer mit 140 μ bestimmt. Dagegen beträgt er bei Mikrosphären in den Schliffen Nr. 28, 34 und 35 bloß 34 μ.

Die von A. Franzenau 1884 als *Heterolepa praecincta* und *H. bullata* bezeichneten Formen stimmen in allen wesentlichen Merkmalen vollkommen miteinander überein, weshalb wir sie zu einer Spezies vereinigen wollen. Daß die eine bei seitlicher Betrachtung etwas dicker und die andere etwas flacher erscheint, ist sicherlich nur eine individuelle Schwankung, die uns im gleichen Ausmaße auch bei unseren Querschnitten entgegentritt. Und eine ebenso untergeordnete Bedeutung kommt wohl auch den kleinen Differenzen in der Aufwölbung des zentralen Buckels der Oberseite oder in der Größe der schwieligen Nabelscheibe an der Unterseite zu.

Da nun F. Karrer bereits im Jahre 1868 eine *Truncatulina praecincta* beschrieben hat [3], die sich von Franzenau's Art trotz einer gewissen Ähnlichkeit hinsichtlich des Septenverlaufes und der hierdurch bedingten Skulptur der Oberseite namentlich durch die ausgesprochen bikonvexe Gehäusegestalt und die geringere Kammerzahl in der Schlußwindung (8 Kammern gegen meist mehr als 11 bei Franzenau's Form) deutlich unterscheidet und ferner eine Gattung *Heterolepa* schwerlich von *Truncatulina* abgesondert werden kann, steht Franzenau's Artname »*praecincta*« im Widerspruch mit dem nomenklatorischen Prioritätsgesetz. Daher haben wir für diese alttertiäre Spezies den Namen *Truncatulina bullata* anzuwenden, den der genannte ungarische Paläontologe bloß ihrer flacheren Ausbildungsform gegeben hat.

Während *Truncatulina bullata* Frnzn. sp. kaum mit *Tr. praecincta* Karr. sp. verwechselt werden kann, zeigt sie überaus nahe Beziehungen zu der im ganzen Tertiär weitverbreiteten *Truncatulina Dutemplei* d'Orb. sp. [4], zu welcher ich außer *Heterolepa simplex* Frnzn. auch die mit dieser durch Übergänge verbundene *Heterolepa costata* Frnzn. [5] rechne. Bei etwas weiterer Artfassung könnte man unseres Erachtens sogar *Truncatulina bullata* noch der *Tr. Dutemplei* einverleiben oder sie eventuell als eine Varietät der letzteren betrachten, die von dem Typus durch den Besitz der

---

jedes Kammersegment seine selbständige Wand besitzt und demnach in jedem Septum zweierlei Wandanteile aneinanderstoßen müssen (vgl. p. 66 [236]). Auffällig sind höchstens die für dieses Genus besonders weiten Poren.

[1] Vgl. V. Uhlig, l. c., p. 172 bis 173.

[2] Vgl. mit den von A. Franzenau (*Heterolepa*, Taf. V) abgebildeten Horizontalschnitten den Längsschnitt von *Pulvinulina bimammata* Gümb. bei V. Uhlig, l. c., Taf. V, Fig. 4.

[3] Vgl. über diese Art F. Karrer, Foraminiferen-Fauna von Kostej, p. 69, Taf. V, Fig. 7, und F. Krumpholz, Foraminiferen von Wawrowitz, p. 143, wo sich weitere Literaturhinweise finden.

[4] Vgl. über diese Art V. Uhlig, Mikrofauna der westgalizischen Karpathen, p. 173, und F. Toula, Tegel von Neudorf und seine Mikrofauna, p. 658, wo weitere Zitate zu lesen sind. *Truncatulina Dutemplei* d'Orb. ist bisher aus dem Mittel-Eozän von Norddalmatien (nach Liebus), dem Ober-Eozän oder Unter-Oligozän von Wola luzańska (nach Uhlig), Bruderndorf (nach Rzehak) und Oberitalien (Seealpen, Euganeen, Priabona nach Hantken, Oppenheim und Liebus), dem Unter-Oligozän von Ungarn (nach Hantken), dem Mittel-Oligozän von Norddeutschland (Septarienton nach Reuss) und Elsaß-Lothringen (nach Andreae), dem Ober-Oligozän von Südbayern (marine und brackische Molasse nach Liebus), dem Miozän von Galizien (Wieliczka nach Reuss), Österreichisch-Schlesien (Karwin) und Nordmähren (nach Schubert), des Wiener Beckens (nach d'Orbigny), Ungarns (Neudorf nach Toula, Kostej nach Karrer) und Siebenbürgens (Lapugy nach Franzenau, Thorda nach Reuss) bekannt geworden. Die im Pliozän auftretenden Formen (Monte Bartolomeo am Gardasee nach Egger und Neu-Guinea nach R. Noth und Schubert) schließen sich zum Teil schon mehr der rezenten *Truncatulina Bradyi* nov. nom. (Trth.) an, so die am Monte Bartolomeo vorkommende durch den lappig erscheinenden Gehäuserand.

[5] Vgl. A. Franzenau, l. c., p. 216, Taf. V, Fig. 2 *a, b, c* und 8 (*Heterolepa costata*) und Taf. V, Fig. 3 *a, b, c* (Mittelform zwischen *H. simplex* und *H. costata*).

kleinen Nabelschwiele auf der Unterseite, die auf der Oberfläche mehr leistenartig-erhaben erscheinenden Kammersepten und den etwas massiveren Schalenbau[1] abweicht.

Die lebende und von H. B. Brady[2] und J. G. Egger[3] als *Truncatulina Dutemplei* bezeichnete Form unterscheidet sich, wie schon F. Toula[4] richtig erkannt hat, ganz merklich von D'Orbigny's Tertiär-Art und verdient deshalb als eigene Spezies, für die wir den Namen ***Truncatulina Bradyi* nov. nom.** vorschlagen, zu gelten. Im Gegensatz zu *Truncatulina Dutemplei* ist bei ihr der Scheibenrand nicht kantig, sondern abgerundet und, von oben betrachtet, lappig, die Spira fast bis in die Mitte der Oberseite deutlich zu verfolgen und in der Regel die Größe des Gehäuses (Scheibendurchmesser 0·2 bis 0·4 *mm* gegen 0·5 bis 1·5 *mm* bei der typischen, tertiären *Tr. Dutemplei*) und die Kammerzahl der Schlußwindung (6 bis 8 bei *Tr. Bradyi*, 7 bis 14 bei *Tr. Dutemplei*) eine geringere.

Truncatulina spec.

Zu dieser Gattung, aber nicht zur vorhin beschriebenen Spezies dürften verschiedene, im durchfallenden Lichte weiß-erscheinende, grobperforierte und oft durch zwei- oder dreiblätterige Septen ausgezeichnete Schnitte gehören, die sich in den Schliffen Nr. 1, 2, 3, 10, 11, 14, 23, 27 von Radstadt und Nr. 38, 39, VI von Kirchberg finden.

Die Querschnitte zeigen eine ziemlich flache Ober(Spiral)- und eine stark gewölbte Unter(Nabel)-seite und erinnern so einigermaßen an ausgesprochen asymmetrische Rotalien oder Pulvinulinen, von denen sie sich aber leicht durch ihre weiten Poren unterscheiden lassen.

Der Rand, an welchem Ober- und Unterseite zusammenstoßen, ist mäßig abgerundet.

Der größte dieser Querschnitte (Schliff Nr. 11) besitzt eine Länge von zirka 0·9 und eine Breite (Höhe) von zirka 0·5 *mm*.

Für eine nähere Bestimmung, bezüglich eine Identifizierung mit den von C. W. Gümbel aus dem Eozän der bayerischen Alpen bekanntgemachten Truncatulinen-Formen sind sie leider nicht ausreichend.

Genus **Rotalia**.

(Taf. III, Fig. 4.)

Rotalien-Schnitte sind in vielen unserer Schliffe von Radstadt — Nr. 1, 3, 5, 8, 9, 10, 14, 16, 17, 20, 24, 33, 34, 35 — in den Schliffen Nr. 39 und VI von Kirchberg, von welcher Lokalität bereits F. Toula das Vorkommen von Rotaliden erwähnt hat[5], und im Schliff Nr. 37 von Wimpassing enthalten.

Sie sind bei durchfallendem Lichte hellfarbig (weiß bis gelblich), nur Quer(Vertikal)schnitte zeigen bisweilen im Bereiche der knotigen Nabelschwielen dunklere (bräunlichgraue) Infiltrationsflecken, die gerne eine von der Schalenmitte gegen die Oberfläche ausstrahlende Büschelzeichnung aufweisen.

Die Größe der Gehäuse ist eine ziemlich mäßige, da ihre Länge (Längendurchmesser) den Betrag von 1·2 *mm*, ihre Breite (Dicke) den von 0·6 *mm* nicht überschreitet.

Die spiralförmigen Längs(Horizontal)schnitte, die uns in den Schliffen Nr. 5, 9, 17 und 34 schön entgegentreten, lassen sich zwar kaum einer bestimmten Spezies zuordnen, zeigen hingegen den für die Gattung charakteristischen Schalenbau in seinen wesentlichen Zügen (vgl. die Abbildung) und

---

1 Vgl. diesbezüglich die Vertikalschnitte bei A. Franzenau, l. c., Taf. V, Fig. 9 und 11 mit dem in Fig. 8.

2 H. B. Brady, Foraminifera dredged by H. M. S. Challenger, p. 665, Taf. XCV, Fig. 5.

3 J. G. Egger, Foraminiferen von S. M. Sch. Gazelle, p. 208, Taf. XVI, Fig. 22, 23, 30, 54 bis 56.

4 F. Toula, Tegel von Neudorf und seine Mikrofauna, p. 658.

5 F. Toula, Nummuliten und Orbitoiden führende Kalke vom »Goldberg«, p. 126.

stimmen in dieser Hinsicht mit den von W. B. Carpenter[1], A. Andreae[2] und R. J. Schubert[3] reproduzierten Schnittbildern bestens überein.

Da jedes Kammersegment von einer eigenen Wand gebildet wird, besteht jedes einzelne Septum aus zwei — einerseits der vorausgehenden, andrerseits der folgenden Kammer angehörigen — Blättern, deren Trennungsspalt (Interseptalfissur) in den Längsschnitten wie ein Zwischenkanal erscheint.

Während die Außenwand von vielen feinen Poren durchsetzt ist, erscheinen die Septen sowie das Zwischenskelett, welches die Schale namentlich in der Nabelpartie der Unterseite als Nabelschwiele verstärkt und im Querschnitte sichtbar wird, fast überall oder überhaupt völlig dicht.

Die Rotalien bewohnen gegenwärtig vorzugsweise die Seichtsee der tropischen und subtropischen Regionen.

Nach der Ausbildung der Querschnitte können wir in den untersuchten Dünnschliffen etwa drei verschiedene Arten unterscheiden, die sich aber mit keiner der von C. W. Gümbel aus dem südbayerischen Eozän beschriebenen Rotalien-Spezies identifizieren lassen.

Rotalia cf. **lithothamnica** Uhl.

(Taf. III, Fig. 5, 8, Taf. IV, Fig. 2.)

cf. 1886. *Rotalia lithothamnica* V. Uhlig, Mikrofauna der westgalizischen Karpathen, p. 195, Taf. V, Fig. 9 bis 11 und Textfig. 6.

1888. — — A. Rzehak, Foraminiferen von Nieder-Hollabrunn und Bruderndorf, p. 268.

An die von Uhlig abgebildeten Exemplare dieser Spezies schließen sich zwei in unserem Radstädter Schliff Nr. 10 und 16 enthaltene Querschnitte, deren größerer (Schliff Nr. 16) zirka 0·7 *mm* lang und 0·48 *mm* breit ist, durch ihre dicklinsenförmige, beiderseits ziemlich gleichstark gewölbte Gestalt und die Ausbildung der in der Mitte der Unter(Nabel)seite gelegenen, außen glatten Nabelschwiele bestens an. Die letztere erscheint als ein in das Schaleninnere eindringender Kegel, der durch eine deutliche Spalte ringsum von dem übrigen Gehäuse abgesetzt ist, dessen Oberfläche er — so wie auch bei Uhlig's Abbildungen zu sehen — nur wenig überragt.

Da ihn aber Uhlig in seiner Beschreibung, abweichend von den Figuren, als einen stark vorspringenden Knopf schildert, glaube ich an obige Form auch einige weitere, in den Schliffen Nr. 24, 34 und 35 von Radstadt sichtbare Querschnitte anreihen zu können, die nur durch diese starke Vorragung der Nabelschwiele von jener abweichen, ihr sonst aber durch Gestalt und Bau wohl entsprechen (vgl. Taf. III, Fig. 8 und Tafel IV, Fig. 2). Die Länge dieser Schnitte beträgt 0·61 bis 0·86 *mm*, ihre Breite einschließlich des Schwielenknopfes 0·48 bis 0·61 *mm*. Durch dessen starkes Emporragen erinnern sie übrigens auchnicht wenig an die von M. Terquem aus dem Eozän des Pariser Beckens (Vaudancourt) beschriebene *Rotalina Guerini* d'Orb.[4], die sich von der an Gestalt ähnlichen *Rotalia lithothamnica* durch den Mangel der durch eine Verzweigung der Septenfurchen und eine Körnelung an der Unterseiten-Peripherie gebildeten Skulptur unterscheidet, Merkmale, die selbstverständlich an den Querschnitten nicht zu beobachten sind.

---

[1] W. B. Carpenter, W. K. Parker and T. R. Jones, Introduction to the study of the Foraminifera, Taf. XIII, Fig. 8 (*Rotalia Schroeteriana* Park. et Jon.).

[2] A. Andreae, Zur Kenntnis des Elsässer Tertiärs, p. 215, Fig. 11 (*Rotalia Schroedteri* d'Orb., wohl = *R. Schroeteriana* Park. et Jon.).

[3] R. J. Schubert, Foraminiferen von S. Giovanni Ilarione, p. 20, Fig. 2 u. 3 (*Rotalia papillosa* Brady var. *tuberculata* Schb.).

[4] M. Terquem, Foraminifères de l'Éocène de Paris, p. 69, Taf. VI, Fig. 3 *a* bis *c*.

Obwohl es natürlich nicht ausgeschlossen wäre, daß die mir vorliegenden Schnitte mit starkem Nabelknopf dieser französischen Art entsprechen, scheinen sie mir doch wahrscheinlicher eine extreme Ausbildungsform der *Rotalia lithothamnica* darzustellen.

Auf diese Spezies möchte ich ferner auch einen jedenfalls nahe unter der Oberfläche geführten Längs(Tangential)schnitt im Radstädter Schliff Nr. 34 (vgl. Taf. III, Fig. 5) beziehen, der rings um die große (Durchmesser 270 μ), subpolygonale Nabelschwiele die durch dunkle Nähte von ihr und voneinander getrennten, trapezförmigen Innenpartien der Kammern des letzten Umganges zeigt, der ja allein auf der Unterseite sichtbar ist. Die periphere Hälfte dieser Kammern ist infolge der Schalenwölbung von der Schliffläche nicht mehr getroffen.

Rotalia lithothamnica scheint eine im nordalpin-karpathischen Alttertiär (Ober-Eozän oder Unter-Oligozän) ziemlich weit verbreitete Art zu sein. Nach Uhlig ist sie in Wola luzańska häufig. Rzehak hat sie im Melettamergel von Bruderndorf und noch an mehreren anderen Punkten der niederösterreichischen und mährischen Sandsteinzone aufgefunden.

Rotalia lithothamnica steht der *R. calcar* d'Orb. sehr nahe, mit der sie R. J. Schubert[1] sogar vereinigt hat.

Rotalia nov. spec.

(Taf. III, Fig. 7.)

Einer neuen Art dürfte ein im Dünnschliff Nr. 35 von Radstadt enthaltener Querschnitt von 0·71 *mm* Länge und 0·53 *mm* Breite angehören, welcher an seiner Unter(Nabel)seite ein stark entwickeltes, weitkegelförmiges und kompakt-homogenes Zwischenskelett zeigt, das sich über die benachbarte Schalenoberfläche mit einigen ungleichgroßen und durch unregelmäßige oberflächliche Vertiefungen voneinander getrennten Protuberanzen erhebt.

In der Mitte der gegenüberliegenden Ober(Spiral)seite bildet die Schale eine breite, ganz flach schildförmige Aufwölbung.

Der von R. J. Schubert aus dem altmiozänen Lepidocyclinenkalk von Celebes unter der Bezeichnung *Rotalia* cf. *annectens* Park. et Jon. var. *concinna* Mill. abgebildete Querschnitt[2] besitzt eine gewisse Ähnlichkeit mit unserem Schnitt, die namentlich durch die Höckerskulptur seiner Unterseite und die glatte Beschaffenheit der sehr flachen Oberseite bedingt ist. Doch werden zum Unterschiede von der Radstädter Spezies diese Höcker durch tiefe, in das Innere der Schale eindringende Spalten voneinander getrennt und bleiben nicht auf die Nabelregion beschränkt, da man sie auch seitlich davon, wenn auch in geringerer Größe, wahrnehmen kann.

Ganz verschieden von der vorliegenden Art ist die im oligozänen Septarienton der Umgebung Berlins auftretende *Rotalina granosa* Reuss[3], welche die körnige Skulptur in der Mitte der schwach gewölbten Spiralseite trägt, während die stärker geschwungene Nabelseite nur eine kleine, flache und glatte Schwiele sehen läßt.

Rotalia nov. spec. aff. **Schroeteriana** Park. et Jon.

(Taf. III, Fig. 6.)

In größerer Anzahl beherbergen die Schliffe Nr. 1, 3, 5, 8, 14, 33 und 34 von Radstadt, Nr. 39 von Kirchberg und Nr. 37 von Wimpassing Rotalien-Schnitte, welche ihrer besonders stark entwickelten Knotenskulptur nach einer neuen Spezies angehören dürften.

Der größte unter ihnen besitzt eine Länge von zirka 0·87 *mm* und eine Breite von 0·61 *mm*, einschließlich der beiderseits befindlichen Knoten.

---

1 R. J. Schubert, Foraminiferen von S. Giovanni Ilarione, p. 20.

2 R. J. Schubert, Foraminiferenfauna von Celebes, p. 150, Taf. VIII, Fig. 3.

3 A. E. Reuss, Foraminiferen der Septarientone von Berlin, p. 75, Taf. V, Fig. 36 *a* bis *c*.

Von diesen ragen einige kräftige, ziemlich hohe und bald zugespitzt, bald mehr stumpf erscheinende in der Mitte der Unter(Nabel)seite auf, deren Trennungsfissuren in konvergierender Richtung tief ins Innere des Gehäuses eindringen. An sie reihen sich seitwärts noch mehrere schwache Protuberanzen an.

In ähnlicher Weise trägt auch der Zentralteil der Ober(Spiral)seite ein paar durch Spalten geschiedene Höcker, welche zumeist fast ebenso hoch über ihre Umgebung aufragen wie jene in der Nabelregion der Unterseite, mitunter aber auch niedriger erscheinen.

Schälchen, bei welchen die Spiralseite eine nicht viel geringere Wölbung und ungefähr ebenso starke Mittelknoten wie die Nabelseite besitzt, bieten im Querschnitt einen beinahe symmetrischen Umriß dar. In der Regel ist aber die asymmetrische Gehäuseform nicht zu verkennen.

Nicht wenig erinnern die vorliegenden Schnitte an den von R. J. Schubert aus einem quartären Korallenkalk von Celebes unter der Bezeichnung *Rotalia Schroeteriana* abgebildeten Querschnitt[1] dessen Knoten eine analoge Anordnung wie die unserer Schnitte zeigen, aber namentlich in der Nabelregion schwächer bleiben als bei diesen. Auch das von J. G. Egger[2] dargestellte Exemplar der *Rotalia Schroeteriana* läßt an beiden Schalenseiten die papillare Ornamentik wohl erkennen.

Merklich weichen hingegen die von H. B. Brady[3] und J. M. Flint[4] abgebildeten und zur genannten Spezies gestellten Exemplare von den untersuchten Schnitten ab.

Pulvinulina bimammata Gümb. spec.

1868. *Rotalia bimammata* C. W. Gümbel, Foraminiferenfauna der nordalpinen Eozängebilde, p. 71 Taf. II, Fig. 85 *a* bis *c*.

1886. *Pulvinulina bimammata* V. Uhlig, Mikrofauna der westgalizischen Karpathen, p. 192, Taf. III, Fig. 7, 8; Taf. V, Fig. 4, 5, 8 (cum synonymis).

1888. — *rotula* A. Rzehak, Foraminiferen von Nieder-Hollabrunn und Bruderndorf, p. 267 (pars.).

1901. — *bimammata* R. J. Schubert, Foraminiferen von S. Giovanni Ilarione, p. 21.

1911. — — A. Liebus, Foraminiferenfauna von Norddalmatien, p. 950.

Mit dem von V. Uhlig, l. c., Taf. V, Fig. 5, abgebildeten Querschnitt von *Pulvinulina bimammata* Gümb. stimmen einige in den Schliffen Nr. 10 von Radstadt, Nr. VI von Kirchberg und Nr. III und IV von Wimpassing enthaltene Schnitte von einer bei durchfallendem Lichte weißlichen Färbung bestens überein.

Die ungefähr linsenförmigen Schälchen, deren größtes einen Längendurchmesser von zirka 1·3 *mm* und eine Dicke von zirka 0·7 *mm* Dicke besitzt, unterscheiden sich von den neben ihnen in beträchtlicherer Zahl auftretenden Exemplaren der *Pulvinulina rotula*, mit der sie übrigens durch gelegentliche Übergangsformen verknüpft erscheinen, durch ihre schwächer entwickelte Nabelschwiele, die nicht viel stärker als die Spiralseite gewölbte Nabelseite und die Gestalt des von diesen beiden gebildeten Randes, der fast niemals saumartig über den allgemeinen Umriß des Gehäuses vorspringt.

In der feinen, dichten Durchbohrung der Schalenwände und deren schichtiglamellarem Dickenwachstum herrscht mit *Pulvinulina rotula* völlige Übereinstimmung.

Pulvinulina bimammata ist bisher — stets zusammen mit *P. rotula* — im Alttertiär des Pilatusgebietes (obereozäner Flysch), der südbayerischen Alpen (mittel- bis obereozäner Nummulitenkalk), des

[1] R. J. Schubert, Foraminiferenfauna von Celebes, p. 149, Taf. VIII, Fig. 4. Schubert erwähnt die Art auch aus den altmiozänen Lepidocyclinenbreccien von Letti (Foraminiferengesteine der Insel Letti, p. 170, 173, 174).

[2] J. G. Egger, Foraminiferen von S. M. Sch. Gazelle, p. 230, Taf. XIX, Fig. 10 bis 12.

[3] H. B. Brady, Foraminifera dredged by H. M. S. Challenger, p. 707, Taf. CXV, Fig. 7.

[4] J. M. Flint, Recent Foraminifera dredged by the Albatross, p. 332, Taf. 76, Fig. 1.

Untersberges (Obereozän?)[1] von Bruderndorf in Niederösterreich und der mährischen Sandsteinzone (Obereozän oder Unteroligozän), der westgalizischen Karpathen (Obereozän oder Unteroligozän von Wola luzańska, Michalczowa und Rajbrot), Norddalmatiens (Mitteleozän von Ljubác) und des Vizentins (mitteleozäne Tuffe von S. Giovanni Ilarione) festgestellt worden. Nach M. Terquem[2] scheint sie auch im Mitteleozän des Pariser Beckens (Septeuil, Vaudancourt) vorzukommen.

Pulvinulina rotula Kfm. spec.

(Taf. IV, Fig. 1.)

1868. *Rotalia campanella* C. W. Gümbel, Foraminiferenfauna der nordalpinen Eozängebilde, p. 72, Taf. II, Fig. 86 *a* bis *e*.
1886. *Pulvinulina rotula* V. Uhlig, Mikrofauna der westgalizischen Karpathen, p. 193, Taf. III, Fig. 5, 6; Taf. V, Fig. 6, 7 (cum synonymis).
1888. — — A. Rzehak, Foraminiferen von Nieder-Hollabrunn und Bruderndorf, p. 267 (pars).
1901. — — R. J. Schubert, Foraminiferen von S. Giovanni Ilarione, p. 21.
1911. — — A. Liebus, Foraminiferenfauna von Norddalmatien, p. 950.

Die in den Schliffen Nr. 10, 16, 34 und 35 von Radstadt, Nr. 38, 39 und VI von Kirchberg und Nr. 36, 37, III und IV von Wimpassing sichtbaren, zahlreichen Pulvinulinen-Schnitte entsprechen größtenteils der von V. Uhlig eingehend behandelten *Pulvinulina rotula* Kfm. sp.

Mitunter weisen die bei durchfallendem Lichte hellgelblich bis weiß erscheinenden Schalen infolge von Infiltrationen bräunlichgraue Flecken auf.

Die zirka 0·35 bis 1·3 *mm* langen und 0·32 bis 1 *mm* dicken Querschnitte lassen schönstens die für *Pulvinulina rotula* charakteristische Gestalt erkennen: in einer bald schärferen, bald stumpferen Randkante stößt die ziemlich flache Spiralseite mit der hochgewölbten, glockenförmigen Nabelseite zusammen.

Die Schale, welche bei starker Vergrößerung einen feinblätterigen Lamellenbau[3] darbietet, wird von vielen engen, geradlinigen Porenkanälchen senkrecht durchsetzt, die in den Kirchberger Schnitten häufig so wie die Kammern von rostbrauner Limonitsubstanz ausgefüllt sind.

Infolge der starken Schalenkrümmung an der als Nabelschwiele bezeichneten, besonders dickwandigen Scheitelpartie der Nabelseite lassen diese Kanälchen hier die Anordnung eines von der Anfangskammer gegen den Scheitel divergierenden Strahlenbündels erkennen.

Vereinzelte Querschnitte, bei denen die Wölbung der Spiralseite im Verhältnis zur Nabelseite etwas stärker, respektive die der letzteren etwas schwächer ist, schließen sich dem von Uhlig, l. c., Taf. III, Fig. 6, dargestellten Exemplare an, das von ihm als Übergangsform zu *Pulvinulina bimammata* Gümb. bezeichnet wird und die nahe Verwandtschaft zwischen beiden Arten dokumentiert. Das Vorhandensein derartiger Mittelformen hat A. Rzehak sogar zu der Ansicht geführt, daß *Pulvinulina bimammata* von *P. rotula* überhaupt nicht spezifisch verschieden und daher mit ihr zu vereinigen sei, obwohl sie in ihren extremen Typen ein recht abweichendes Aussehen darbieten. A. Liebus, der im dalmatinischen Mittel-Eozän *Pulvinulina bimammata* bedeutend größer als *P. rotula* — so wie Uhlig — und durch keine Zwischenformen verbunden fand, hält es nicht für ausgeschlossen, daß die zutage tretenden Verschiedenheiten durch Altersunterschiede bedingt sein könnten.

---

[1] Vgl. E. Fugger und C. Kastner, Naturwissenschaftliche Studien und Beobachtungen aus und über Salzburg. Salzburg 1885, p. 117.

[2] M. Terquem, Foraminifères de l'Éocène de Paris, p. 66, Taf. XIII, Fig. 5 bis 13.

[3] Ganz ähnlich wie bei der von H. B. Brady (Foraminifera dredged by H. M. S. Challenger, p. 700, Fig. 21) abgebildeten Tiefseeform *Pulvinulina partschiana* d'Orb. sp.

Pulvinulina rotula ist wie ihre Begleiterin *P. bimammata* eine auf das Alttertiär beschränkte Art, die vornehmlich in litoralen Ablagerungen, ab und zu aber auch in solchen größerer Meerestiefe[1] auftritt.

Man kennt sie aus der Schweiz (Obereozän des Pilatusgebietes), den südbayerischen Alpen (mittel- bis obereozäner Nummulitenkalk), vom Untersberg (Obereozän?)[2], von Bruderndorf in Niederösterreich (aus glaukonitischen Tegelsanden, Orbitoidenkalken und Melettamergeln des Obereozäns oder Unteroligozäns) und aus der mährischen Sandsteinzone[3], den westgalizischen Karpathen (Obereozän oder Unteroligozän von Wola luzańska und Kobylanka), aus dem Untergrunde von Budapest (sandige Tone des ? Oberoligozäns)[4] und dem Tegel von Romhány, Komitat Nógrád (= unteroligozäner Kleinzeller Tegel)[5] in Ungarn, den Mergeln von Ljubác, Benkovac, Kapelica und Grabovici (Mitteleozän) in Norddalmatien und den grünen Tuffen von S. Giovanni Ilarione (Mitteleozän) im Vizentin

Falls die von M. Terquem[6] unter dem Namen *Rotalina campanella* beschriebene Art der *Pulvinulina rotula* entspricht, würde diese auch im Eozän des Pariser Beckens (Septeuil, Vaudancourt) vorhanden sein.

C. Schwager's *Pulvinulina* cf. *campanella* aus dem Eozän der libyschen Wüste[7] ist, wie schon Uhlig bemerkt hat, mit *P. rotula* zwar nahe verwandt, aber doch kaum identisch.

Polytrema planum Cart.

(Taf. III, Fig. 17, 18.)

1876. *Polytrema planum* H. J. Carter, Polytremata, p. 211, Taf. III, Fig. 18, 19.
1900. — *miniaceum* var. *involva* F. Chapman, Foraminifera from the Funafuti Atoll, p. 17, 18, Taf. II, Fig. 3 und Textfig. 2.
1901. — *planum* F. Chapman, Foraminifera from the Lagoon at Funafuti, p. 201, 202, Taf. XX, Fig. 6, 7 (cum synonymis).
1902. — — F. Chapman, Foraminifera collected round the Funafuti Atoll, p. 387, 393, 396, Taf. XXXV, Fig. 2, 4 (cum synonymis).
1905. — — F. Chapman, Foraminiferal rocks on the west coast of Santo, p. 270, Taf. V, Fig. 2.
1911. *Gypsina inhaerens* R. J. Schubert, Foraminiferen des Bismarckarchipels, p. 115, Taf. III, Fig. 3.
1913. *Polytrema planum* R. J. Schubert, Foraminiferenfauna von Celebes, p. 146, Taf. VIII, Fig. 1.
1914. — — R. J. Schubert, Foraminiferengesteine der Insel Letti, p. 181.

Die Radstädter Schliffe Nr. 16, 18, 26 und 34 enthalten einige Schnitte, die sich mit Sicherheit auf *Polytrema planum* Cart. beziehen lassen. Sie gehören durch Bruch unregelmäßig begrenzten und plattig in die Länge gezogenen Schalenfragmenten an, die mit einem Teile ihrer Oberfläche auf Fremdkörpern (Gesteins-, Lithothamnien-, Echinodermen- oder Molluskenstückchen) aufgewachsen sind und stellenweise auch Partikel von solchen umwachsen haben.

Ihre Länge schwankt zwischen 1·6 und 4·7 *mm*, ihre Breite (Dicke) zwischen 0·36 und 1·76 *mm*.

---

[1] Wie zum Beispiel im glaukonitischen Tegelsand von Bruderndorf, dem A. Rzehak (Foraminiferenfauna der alttertiären Ablagerung von Bruderndorf, p. 7) mit Recht eine beträchtliche Ablagerungstiefe zuschreibt.

[2] Vgl. E. Fugger u. C. Kastner, Naturwissenschaftliche Studien und Beobachtungen aus und über Salzburg. Salzburg 1885, p. 117.

[3] Vgl. A. Rzehak, 1888, l. c., und 1891, l. c., p. 4, 10, 11.

[4] Vgl. A. Franzenau, Beitrag zur Kenntnis des Untergrundes von Budapest. Földtani közlöny, Bd. XVIII. (1887), p. 169.

[5] Vgl. A. Franzenau, Der Tegel von Romhány. Természetrajzi füzetek. Vol. XV (1892), p. 142.

[6] M. Terquem, Foraminifères de l'Éocène de Paris, p. 74, Taf. VII, Fig. 1 bis 4.

[7] C. Schwager, Foraminiferen der libyschen Wüste und Ägyptens, p. 131, Taf. XXVIII, Fig. 8 *a* bis *d*. In der beigefügten Tafelerklärung erscheint hierfür infolge eines Druckfehlers Fig. 7 angegeben.

Die krustigen Platten werden von kleineren und größeren, zelligen oder blasigen Kämmerchen aufgebaut, die in ungefähr parallelen Schichtlagen übereinanderfolgen, von denen zehn auf eine Plattendicke von etwa 175 bis 360 μ entfallen. Die Kämmerchen sind häufig, so wie es schon das von Schubert abgebildete Exemplar von Fontalis im Bismarckarchipel[1] erkennen läßt, auf einer (wohl der Aufwachsungs-) Seite mehr großmaschig oder -blasig entwickelt, während sie nach der anderen (Ober-) Seite hin eine zierlichere, länglichflache Gestalt annehmen und so den Schichtenbau schärfer markieren. Doch treten nicht selten auch großblasige Zellen unregelmäßig innerhalb der Reihen der kleineren und schmäleren Kammern auf.

Im Verhältnis zur Lumenweite der blasigen Kämmerchen, welche in unserem Schliffe Nr. 34 (vgl. Taf. III, Fig. 17) einen Durchmesser von 66 bis 80 μ erreichen können, beträgt die Dicke der sie umgrenzenden Wände, die dunkelgrau oder rostbraun gefärbt erscheinen, in der Regel nur einige wenige Mikron. Eine sich an der Außenseite der Kammerwände öffnende gypsinenartige Perforation derselben, wie sie Brady[2] bei der Beschreibung der Gattung *Polytrema* erwähnt, konnten wir an unseren Schliffen nicht beobachten.

Die Übereinstimmung der Radstädter Schnitte mit den von R. J. Schubert und F. Chapman[3] reproduzierten Mikrophotogrammen ist eine außerordentliche.

Polytrema planum ist bisher fossil in den altmiozänen Lepidocyclinenkalken von Christmas-Island, Celebes und Santo (Neue Hebriden) und den vermutlich quartären Korallenriffkalken von Celebes, Letti und des Bismarckarchipels festgestellt worden, Regionen, deren seichte Küstensee es auch gegenwärtig als sessile Benthosform bewohnt.

Über seine Lebensverhältnisse sind wir insbesondere durch F. Chapman's interessante Untersuchungen über die Foraminiferenfauna des Funafuti-Atolls (Ellice-Inseln) genauer unterrichtet worden, die folgendes ergeben haben:

Im Litoralgewässer und in der Lagune des Funafuti-Riffes auftretend, zeigt *Polytrema planum* eine ausgesprochene Tendenz, mit konzentrischen Lagen von Lithothamnien alternierend, knotige Massen aufzubauen, die oft einen Durchmesser von 5 *cm* erreichen. Ein sandiger, von Strömungen beeinflußter Boden scheint für dieses Auftreten die günstigsten Bedingungen darzubieten. Indem die *Polytrema*-Krusten Fragmente von abgestorbenen Korallen, Algen (*Halimeda, Lithothamnium*) und Gesteinsstücke umwachsen, runden sie deren vielfach scharfeckige und kantige Form ab, die unter dem neugeschaffenen Überzug schließlich völlig verschwinden kann. Auch lebende Organismen, wie zum Beispiel Schalen der Foraminiferengattung *Cycloclypeus*, werden überrindet und endlich durch das rapide Wachstum von *Polytrema planum* ganz zugedeckt. Durch diese inkrustierende Tätigkeit, welche häufig auch durch Verkittung einzelner Gesteinsbrocken, respektive Organismenreste zur Entstehung fester Konglomerate führt, erlangt diese Foraminiferenspezies als Felsbildner am Funafutiriff eine nicht unbeachtenswerte Bedeutung. Krustenbildungen von 5 cm^2 Größe sind keine seltene Erscheinung, und gelegentlich hat Chapman selbst solche von 7×5 *cm* Flächenmaß und von $13 \times 5 \times 4$ *cm* Raummaß angetroffen.

Die große Ähnlichkeit des Wachstumshabitus von *Polytrema planum* mit manchen Lithothamnien und Lithophyllen kann bei oberflächlicher Betrachtung mitunter zur Verwechslung mit diesen Kalkalgen führen, von denen es sich aber bei der mikroskopischen Betrachtung von Dünnschliffen ohne Schwierigkeit unterscheiden läßt.

Der Bereich der günstigsten Lebensbedingungen liegt am Funafuti-Atoll für unsere Foraminiferenart zwischen 80 und 200 Faden (146 und 366 *m*) Tiefe; ihre reichste Entwicklung fällt hier in eine Tiefe von 80 Faden (146 *m*).

---

[1] L. c., Taf. III, Fig. 3.

[2] H. B. Brady, Foraminifera dredged by H. M. S. Challenger, p. 720.

[3] F. Chapman, Foraminifera from the Lagoon of Funafuti, Taf. XX, Fig. 6 u. 7.

Gypsina globulus Reuss, spec.

(Taf. III, Fig. 1.)

1847. *Ceriopora globulus* A. E. Reuss, Die fossilen Polyparien des Wiener Tertiärbeckens. Haidinger's naturw. Abhandl., II. Bd., p. 33, Taf. V, Fig. 7 *a* bis *c*.
1884. *Gypsina globulus* H. B. Brady, Foraminifera dredged by H. M. S. Challenger, p. 717, Taf. CI, Fig. 8 (cum synonymis).
1886. — — V. Uhlig, Mikrofauna der westgalizischen Karpathen, p. 197, Textfig. 7 bis 9 (cum synonymis).
1888. — — H. B. Brady, W. K. Parker and T. R. Jones, Foraminifera from the Abrohlos Bank, p. 229, Taf. XLVI, Fig. 13.
1896. — — C. Schlumberger, Tinoporus, p. 90, Taf. III, Fig. 4.
1900. — — P. Oppenheim, Priabonaschichten, p. 34.
1900. — — F. Chapman, Foraminifera from the Lagoon at Funafuti, p. 198.
1909. — — F. Chapman, Batesford Limestone, p. 290.
1911. — — R. J. Schubert, Foraminiferen des Bismarckarchipels, p. 114 (cum synonymis).
1913. — — G. Checchia-Rispoli, Foraminiferi di S. Marco la Catola, p. 120 (cum synonymis).
1914. — — L. Rutten, Foraminiferen-führende Gesteine von Niederländisch Neu-Guinea, p. 28, Taf. VI, Fig. 8.
1914. — — R. J. Schubert, Foraminiferengesteine der Insel Letti, p. 180.

In den Schliffen Nr. 16, 17, 27 und 28 unseres Radstädter Eozänmaterials finden sich einige kreisförmige Durchschnitte von *Gypsina globulus*, welche einen Durchmesser von 0·5 bis 1·1 *mm* besitzen und die für diese kugelige Form charakteristische und namentlich von V. Uhlig eingehend studierte Schalenstruktur schön erkennen lassen.

Während die auf die runde Zentralkammer zunächst folgenden Kammern eine unregelmäßige Spirale bilden, nehmen die sich dann anschließenden eine zyklische und ziemlich genau radiale Anordnung an, wobei die in einander benachbarten Radialreihen gelegenen Kammern alternieren. Die Decken der einzelnen Kammern sind von deutlichen Porenkanälen durchsetzt, hingegen ihre verdickten Seitenwände allem Anscheine nach undurchbohrt.

C. Schlumberger hat die enge Verwandtschaft dieser Form mit der an der Südküste von Flores lebenden und durch radial gestellte Skelettpfeiler ausgezeichneten *Baculogypsina Floresiana* Schlumb. hervorgehoben.

Gypsina globulus bewohnt heute als typische Benthosform und meistens von der ihr überaus nahestehenden *Gypsina vesicularis* Park. et Jon. sp. begleitet die Korallensande der warmen Breiten von der Litoralzone bis in etwa 400 Faden (731 *m*) Tiefe. Kleine Exemplare hat man gelegentlich auch an der Nord- und Westküste der britischen Insel angetroffen.

Fossil ist die Spezies bisher in folgenden Ablagerungen und Gegenden gefunden worden: im Alttertiär des Pariser Beckens (mitteleozäner Grobkalk von Parnes), der westgalizischen Sandsteinzone (Obereozän oder Unteroligozän von Wola luzańska), des Granergebietes in Ungarn (unteroligozäne Ofnermergel), von Oberitalien (obereozäne Priabonaschichten), von Foggia (Capitanata) und Sizilien (eozäne bis oligozäne Lepidocyclinenschichten), von Borneo (Oligozän) und Neu-Guinea (Eozän bis Oligozän); im Miozän des Wiener Beckens (Nußdorf) und Westungarns (Mörbisch bei Ödenburg), von Malta, Südwestfrankreich (Bordeaux), Westindien (Jamaica, San Domingo), ferner von Borneo, Celebes, Letti, Neu-Guinea, des Bismarckarchipels und des Staates Victoria in Australien (in diesem malayisch-australischen Gebiete besonders in den altmiozänen Lepidocyclinenkalken); endlich im Pliozän von Palermo und Costa-Rica und in den vermutlich quartären Korallenriffkalken von Celebes und des Bismarckarchipels.

Gypsina vesicularis Park. et Jon. spec.

(Taf. III, Fig. 2.)

1884. *Gypsina vesicularis* H. B. Brady, Foraminifera dredged by H. M. S. Challenger, p. 718, Taf. CI, Fig. 9 bis 12 (cum synonymis).
1897. — — T. Rup. Jones, Foraminifera of the Crag, p. 335, Fig. 25 (cum synonymis).
1900. *Gypsina vesicularis?* F. Chapman, Patellina Limestone from Egypt, p. 15.
1901. *Gypsina vesicularis* F. Chapman, Foraminifera from the Lagoon at Funafuti, p. 198, Taf. 19, Fig. 12.
1902. — — F. Chapman, The Foraminifera, p. 225, Taf. 12, Fig. *P.*
1909. — — F. Chapman, Batesford Limestone, p. 290.
1911. — — R. J. Schubert, Foraminiferen des Bismarckarchipels, p. 115, Taf. III, Fig. 4.
? 1912. — — P. L. Prever, Fauna a Nummuliti e ad Orbitoidi dell'Aniene, p. 258, Taf. XI, Fig. 2, Nr. 117, u. Fig. 7, Nr. 117.

Zu dieser Spezies rechne ich einen in Schliff Nr. 34 eines Radstädter Eozängerölles, das auch *Gypsina globulus* führt, enthaltenen Schnitt, der auf einer Seite ziemlich gleichmäßig gewölbt, auf der anderen aber mehr abgeflacht erscheint. Sein größter Durchmesser beträgt zirka 1 *mm,* sein kleinster zirka 0·8 *mm.*

Zum Unterschiede von der ihr engstens verwandten *Gypsina globulus,* deren regelmäßig sphärische Gestalt durch eine freibenthonische Lebensweise bedingt ist, scheint *Gypsina vesicularis* ihre etwas unregelmäßige Form einer stärkeren oder schwächeren Anheftung an einer Unterlage zu verdanken.

Im Alttertiär kommt diese Spezies nur sehr selten vor: Prever erwähnt sie aus dem Eozän des oberen Aniene-Gebietes (östlich von Rom) und Waters [1] aus dem Oligozän von Oberburg in Steiermark.

Im Jungtertiär ist ihre Verbreitung ungefähr die gleiche wie jene von *Gypsina globulus,* die sie damals wie heute zu begleiten pflegte. So kennt man sie aus den altmiozänen Lepidocyclinenkalken von Celebes, des Bismarckarchipels und des Staates Victoria in Australien, den Miozänablagerungen von Südwestfrankreich (Bordeaux), Malta und Westindien (Jamaica), dem Pliozän von Costa-Rica und Ägypten (Patellina-Limestone des Niltales), als große Seltenheit in dem aus einem kühleren Meere abgelagerten Pliozän-Crag von England (Südbourne), in dessen Umkreis [2] sie auch jetzt noch vereinzelt und zum Teil mit *Gypsina globulus* angetroffen wird, und in größerer Häufigkeit in den wahrscheinlich quartären Korallenriffkalken von Celebes und des Bismarckarchipels.

Gegenwärtig lebt sie hauptsächlich in den Korallenmeeren der warmen Breiten (malayischer Archipel, Polynesien, bei Mauritius etc.), wo sie von den Korallensanden der Litoralzone bis in zirka 400 Faden Tiefe hinabsteigt.

Pseudogypsina novum genus.

Zur Aufstellung dieses neuen Foraminiferen-Genus gibt uns eine im Radstädter Eozän entdeckte sessile Spezies Anlaß, die wir unter dem Namen *Pseudogypsina multiformis* n. sp. beschreiben.

Die Gattungsdiagnose faßt demgemäß nur die wesentlichen Eigenschaften dieses einzigen Repräsentanten zusammen.

Die kleinen Schälchen, welche infolge ihrer festsitzenden Lebensweise eine sehr variable Gestalt von plattig-krustigem Typus besitzen, werden von parallel übereinander liegenden, ziemlich dicken Skelettlamellen (Lagen) aufgebaut, zwischen die sich die

[1] Vgl. V. Uhlig, Mikrofauna der westgalizischen Karpathen, p. 199.

[2] An den Küsten der britischen Insel, Norwegens und Schwedens (Bohus) in geringer Tiefe.

verhältnismäßig schmalen Kammerhohlräume einschalten. Die Verbindung zwischen diesen wird allem Anschein nach durch ein relativ feines, netzförmiges Spaltensystem hergestellt, welches die Skelettlamellen durchsetzt und so in einzelne subpolygonale Felder zerlegt. Von den ersteren erheben sich zackige, pfeilerartige Aufragungen.

Die Querschnitte bieten durch die relativ beträchtliche Dicke der Skelettlagen ein ähnliches Bild dar wie die der Gattung *Gypsina*, unter deren Arten sich auch solche mit unregelmäßig gestalteten festsitzenden Gehäusen und von blätterigem Aufbau finden.

Doch wird zum Unterschied von unserer Form bei diesem Genus die Kommunikation zwischen den benachbarten Kammerhöhlen durch löcherige Perforationen ihrer Wandungen bewirkt.

Die zur ausschließlich sessil lebenden Gattung *Polytrema* gehörigen, teils krustig-plattigen, teils baumförmig wachsenden Arten weichen von *Pseudogypsina* durch die meist blasige und etwas ungleichmäßige Gestalt ihrer Kammern ab, die sich in ungefähr parallelen Lagen aneinander reihen. Dieselben werden nicht durch ein Spaltensystem wie wohl bei unserer Form miteinander verbunden sondern, wie Brady angibt, durch einfache Porenkanäle, welche die nur mäßig starken Wände durchbohren.

Über die Frage, ob die Bildung von Pseudogypsinen-Schälchen mit spiral angeordneten Primordialkämmerchen wie bei *Gypsina* und *Polytrema* beginnt oder nicht, geben mir leider die untersuchten Schnitte keinerlei Auskunft.

Pseudogypsina multiformis nov. spec.

(Taf. IV, Fig. 1 bis 5.)

Die Spezies, auf welcher wir die neue Gattung *Pseudogypsina* begründen, erscheint in zahlreichen Schnitten innerhalb der Radstädter Dünnschliffe Nr. 16, 17, 34 und 35. Diese sind insgesamt aus einem und demselben Eozängerölle angefertigt worden, einem festen, rötlich und gelblichgrau gesprenkelten Kalkstein, der nur wenig durch sandiges Material verunreinigt ist und neben den zu beschreibenden Schälchen auch viele Reste von Lithothamnien, Echinodermen, Orthophragminen und anderen Foraminiferen-Geschlechtern beherbergt.

Unsere interessanten Schnitte erscheinen bald dünn- oder dickplattig, bald sichel- oder halbmondförmig mit verschmälerten Enden, bald auch in der Gestalt eines straff gespannten Bogens, dessen beide Enden bis zur gegenseitigen Berührung zusammengekrümmt sind, oder gar in der eines in der Mitte winkelig abgeknickten Körpers mit zusammengelegten Schenkeln. Der von den Bogen umschlossene Raum wird häufig von einer körnigen Calcitmasse eingenommen. In der so wechselvollen Form, die der gewählte Artname zum Ausdruck bringen soll, verrät sich schon auf den ersten Blick die sessile Lebensweise der untersuchten Schälchen, deren Aufwachsung auf Lithothamnienpartien wir übrigens auch in einigen Fällen (Schliff Nr. 35) beobachten konnten.

Die Länge der einzelnen Schnitte, welche wir bei den bogenförmigen ihrem Umfange folgend von einem Ende bis zum anderen messen, hält sich zumeist zwischen 0·23 und 2·5 *mm*, ein Betrag, der selten überschritten wird. Nur bei einem zusammengeknickt erscheinenden Durchschnitt ergab die Summierung beider Schenkelhälften die extreme Gesamtlänge von 4 *mm*.

Der Längenerstreckung entsprechend zeigen die Gehäuse einen Aufbau aus untereinander parallelen Lagen oder Lamellen, die wir im folgenden näher betrachten werden.

Die senkrecht zu ihnen ermittelte Gesamt-Breite oder -Dicke der Schalenschnitte schwankt in der Regel zwischen 200 und 330 μ. Bloß in der Mitte der zusammengekrümmten, bogenförmigen Sektionen, die allerdings teilweise schon schräg gegen die Lamellen gerichtet sein dürften, erreicht sie ausnahmsweise ein Ausmaß bis zu 800 μ.

Die parallelen Lagen, welche, wie erwähnt, die Schälchen aufbauen und in unseren Mikrophotogrammen (bei durchfallendem Lichte) durch ihre helle Färbung deutlich hervortreten, sind dicker als

die sie voneinander trennenden Hohlräume, die sich uns im Bilde als dunkle längliche Streifen darstellen.

Durch kleine Pfeiler oder Zacken, die von den einzelnen Lamellen gegen die folgenden aufragen, wird in den Querschnitten eine Art Teilung der Kammerhohlräume bewirkt oder angedeutet.

In den Querschnitten zeigen sich die hellen Skelettlagen durch dunkle, mäßig weit (zirka 25 bis 30 μ) voneinander abstehende Perforationen durchbrochen, welche die benachbarten und durch jene Lamellenlagen voneinander getrennten Kammerhohlräume in Verbindung setzen. Da diese Perforationen aber in dem einer Lamelle folgenden Längsschnitt (vgl. Taf. IV, Fig. 3) nicht als runde Porenöffnungen, sondern, wie ich es deuten zu können glaube, als ein dunkles, zartes Maschenwerk erscheinen, das die Lamellenlage in viele subpolygonale Felder zerlegt, müssen sie wohl als ein jene durchsetzendes, netzartiges Spaltensystem betrachtet werden, das sich von den Porenkanälen der Gypsinen wesentlich unterscheidet und auch eine generische Abtrennung unserer Schälchen von derartigen habituell nicht unähnlichen Formen gerechtfertigt erscheinen läßt.

Wie die genaue Untersuchung vieler Schnitte ergeben hat, entfallen zehn der parallelen Skelettlamellen gewöhnlich auf eine Schalendicke von 150 bis 200 μ, seltener auf mehr (bis 250 μ). Diese Differenzen sind wohl zum Teil durch individuelle Schwankungen in der Stärke dieser Lagen und der Höhe der dazwischen liegenden Kammerräume bedingt, zum Teil aber auch durch die Schnitt-Orientierung, die jene bei schiefer Neigung des Schliffes natürlich größer erscheinen läßt als bei einem Verlaufe genau senkrecht dazu.

Abgesehen von der vorhin erwähnten Strukturverschiedenheit der Gypsinen im allgemeinen unterscheidet sich speziell die rein sessile, unregelmäßig-discoidale *Gypsina inhaerens* Schultze sp.[1], eine ziemlich häufige Seichtwasserform der Nordsee (Skager-Rak) und der westindischen und australisch-malayischen Gewässer, von unserer Art durch die subpolygonale oder blasige Gestalt und die nicht schichtige, sondern irregulär-gehäufte Anordnung ihrer Kämmerchen, deren relativ mäßigstarke Wände wenigstens an ihrer Oberseite von Poren durchlöchert sind.

Eine Verwechslung der *Pseudogypsina multiformis* mit *Polytrema planum* Cart. erscheint bei ihrem ganz abweichenden Aufbau, der im Querschnitt besonders auffällig zur Geltung kommt, völlig ausgeschlossen.

Rupertia furcateseptata nov. spec.

(Taf. III, Fig. 13 bis 16.)

Die Schliffe Nr. 3, 16, 17, 28, 34 und 35 des Radstädter Eozäns enthalten mehrere, teils vollständige, teils fragmentäre, hellgelblichbraun gefärbte Schnitte, die ihrem Baue nach der sessilen Gattung *Rupertia* entsprechen und besonders zu den durch V. Uhlig und Zina Leardi aus dem küstennahen Alttertiär von Wola luzańska in Westgalizien (Obereozän oder Unteroligozän) und von Oberitalien (Eozän von S. Genesio bei Turin, Lacedonia, Porcinaro bei Pozzoli, S. Martino bei Bobbio, Provinz Pavia) beschriebenen Arten *Rupertia incrassata* Uhl. und *R. Uhligi* Lrd. Beziehungen aufweisen.[2] Sie unterscheiden sich aber von ihnen durch die bifurcate Teilung der Septen an deren Innenseite deutlich, weshalb sie als neue Spezies angesprochen werden mögen.

Diese Eigenschaft kommt namentlich in den parallel zur basalen Aufwachsungsfläche orientierten und den spiralen Verlauf der Außen(Spiral)wand zeigenden Schnitten zum Ausdruck, die von Uhlig als Quer- und von Leardi als Horizontalschnitte bezeichnet werden. Dieselben besitzen einen

---

[1] Vgl. über diese Spezies H. B. Brady, Foraminifera dredged by H. M. S. Challenger, p. 718, Taf. CII, Fig. 1 bis 6, und F. Chapman, Foraminifera from the Lagoon at Funafuti, p. 198, woselbst sich weitere Literaturhinweise finden.

[2] Vgl. *Rupertia incrassatata* Uhl. bei V. Uhlig, Mikrofauna der westgalizischen Karpathen, p. 185, Taf. IV, Fig. 3 bis 9 und bei Z. Leardi, Foraminiferi di S. Genesio, Il genere Rupertia, p. 101, Taf. II, Fig. 1, 2, 3, 10, 11; ferner *Rupertia Uhligi* Lrd. bei Z. Leardi, l. c., p. 103, Taf. II, Fig. 4, 5, 6, 8, 9.

Maximaldurchmesser von 0·8 bis 2 *mm* und umfassen bis etwas über zwei Umgänge mit je 8 bis 10 Kammern.

Das Spiralblatt besteht aus einzelnen, parallel aufeinanderfolgenden Schichtlamellen, die durch feine Linien voneinander getrennt sind und von der äußersten Kammer (hier anscheinend nur zwei Lamellen) gegen innen stufenweise an Zahl zunehmen, so daß die Spiralwand in dieser Richtung immer dicker wird.

Wie unsere Horizontalschnitte schön erkennen lassen, besitzen auch die die einzelnen Kammern scheidenden Septen Lamellarstruktur. Während in besonders starken Scheidewänden zuweilen 2 bis 3 Spaltlinien verlaufen, ist es in der Regel nur eine, welche jedes Septum seiner Länge nach durchzieht und es so in zwei Blätter zerlegt. Indem sich nun die Septen an ihrem Innenende — wie es scheint, samt ihrer Längslinie[1] — in zwei Äste gabeln, welche jeder für sich schräg an das nächstinnere Spiralblatt herantreten und mit ihm verwachsen, entstehen zwischen letzterem und den Septalästen kleine schiefdreieckige, kammerartige Hohlräume (Sekundärkammern), ähnlich wie sie Leardi's Horizontalschnitt durch *Rupertia Uhligi* (l. c., Taf. II, Fig. 8) aufweist und jener durch *R. incrassata* (Leardi, l. c., Taf. II, Fig. 10) wenigstens stellenweise angedeutet zeigt. Zina Leardi bezeichnet diese Hohlräume als »Kanäle«, wenn sie ihrer bei *R. incrassata* mit folgenden Worten Erwähnung tut (l. c., p. 102): »Nelle sezioni orizzontali si scorgono canali abbastanza grossi che giacciono nelle parti inferiori dei setti di separazione presso la base delle camere.« Bei *Rupertia Uhligi* findet sie dieselben stärker entwickelt, wie aus ihrer Beschreibung dieser Art (l. c., p. 104) hervorgeht: ».... una seconda serie di canali che percorrono la parete di base delle camere. Questo sistema di canali è ancora più sviluppato di quello che si osserva nella *Rup. incrassata* e che è appena accenato nella *Rup. elongata* sopra descritta. La posizione loro rispetto agli strati è corrispondente alla base del primo strato del setto.« Aus Leardi's Horizontalschnitt dieser Spezies (l. c., Taf. II, Fig. 8) scheint übrigens hervorzugehen, daß sich das verschmälerte Innenende eines jeden Septums bogen- oder hakenförmig gegen die jeweils vorangehende Kammerscheidewand nach rückwärts aufbiegt und so mit ihr und der gegen innen benachbarten Spiralwand diese »kanal«artigen Spatien einschließt. Keinesfalls liegt hier aber eine Bifurcation der Septen an ihrem Innenende vor, wie sie unsere Schnitte darbieten. Abweichend von Leardi's Darstellung enthält Uhlig's Beschreibung von *Rupertia incrassata* keinerlei Hinweis auf das Vorhandensein der erwähnten sekundären Hohlräume.

Wie an einem unserer in Schliff Nr. 28 sichtbaren Schnitte (Taf. III, Fig. 14) zu beobachten ist, können mitunter die benachbarten Gabeläste mehrerer aufeinander folgender Septen miteinander verwachsen, ohne dabei jedoch die gegen einwärts gelegene Spiralwand zu erreichen, so daß dann die entsprechenden sekundären Kämmerchen zu einem einheitlichen, langgestreckten Kammerraume verschmelzen, der sich als »Kanal« zwischen die Spiralwand einer- und die vereinigten Septenenden andrerseits einschiebt, eine Erscheinung, die in analoger Weise auch an Leardi's Horizontalschnitt von *Rupertia Uhligi* (l. c., Taf. II, Fig. 8) wahrgenommen werden kann.

Ungefähr senkrecht zu den Horizontalschnitten und daher als Vertikalschnitte im Sinne Leardi's, respektive Längsschnitte im Sinne Uhlig's zu betrachten sind wohl einige Schnitte mit ziemlich flacher Basis (Aufwachsungsfläche), deren Länge mit 0·45 bis 1·2 *mm* ermittelt wurde, und mit einer sich darüber als breites Gewölbe erhebenden Oberseite, deren Höhe 0·27 bis 0·8 *mm* beträgt (vgl. Taf. III, Fig. 16). Die allgemeine Gehäusegestalt muß also breitblasig und mehr deprimiert gewesen sein als bei der sphäroidal aufgeblähten *Rupertia incrassata* Uhl. Von der sich zylindrisch erhebenden *Rupertia Uhligi* Lrd. weicht sie hierdurch schon ganz auffällig ab.

Das Spiralblatt erscheint in unseren Vertikalschnitten in Form von konzentrisch übereinanderfolgenden, dicken Halbkreisbogen, deren Zwischenräume durch die annähernd radial stehenden Septen in die einzelnen Kammern zerlegt werden. Diese Septen legen sich gewöhnlich mit deutlich wahr-

[1] Indem sich dann unter dieser noch ein ferneres Septalblatt einstellt.

nehmbarer Bifurcation an den gegen innen folgenden Bogen der Spiralwand an, während sie nur selten (bei einem Schnitte in Schliff Nr. 34) so, wie dies in Uhlig's Längsschnitt durch *Rupertia incrassata* (l. c., Taf. IV, Fig. 7) zu sehen ist, mit kugelig verdickten Köpfchen endigen, ohne die Außenwand des nächstinneren Umganges zu erreichen.

Im Gegensatze zur Spiralwand, welche von vielen, zirka 6 bis 10 μ breiten Porenkanälchen senkrecht durchsetzt wird (vgl. auch den peripheren Segmentalschnitt, Taf. III, Fig. 15), die auf deren Oberfläche als eng beisammen stehende, runde Löchlein erscheinen, sind die Septen fast stets völlig dicht. Nur ganz ausnahmsweise kann man an einigen Stellen derselben einige Perforationen beobachten, welche dann ungefähr dieselbe Weite besitzen wie jene in der Außenwand, aber in größerer Entfernung voneinander abstehen.

Familie: **Nummulinidae** Carp.

Operculina spec.

Auf diese Gattung glaube ich einige kleine Längsschnitte (Durchmesser zirka 150 bis 350 μ) beziehen zu können, die sich in mehreren der untersuchten Dünnschliffe, so in Schliff Nr. 9, 13, 21, 29, 32 von Radstadt, Nr. 38 von Kirchberg und Nr. 37 von Wimpassing finden, oft von anderen nicht größeren Spiralschnitten begleitet, die von Cristellarien, Discorbinen, Pulvinulinen, Rotalien, Truncatulinen und anderen stammen mögen.

Eine nähere Bestimmung ist bei diesen winzigen Schälchen natürlich ausgeschlossen.

Das Vorkommen von Operculinen im Kirchberger Eozän ist bereits von F. Toula[1] erwähnt worden, der nach F. Karrer's Angabe eine an *Operculina complanata* Defr. sp. und eine 7 *mm* große an *O. granulata* Leym., das ist *O. complanata* var. *granulosa* Leym.[2] erinnernde Form anführt.

Diese beiden Formen treten auch im südbayerischen Eozän auf, aus welchem C. W. Gümbel die erstere unter dem Namen *Operculina ammonea* Leym. und die letztere als *O. granulata* Leym. beschrieben hat.[3]

Aus dem Unter-Oligozän von Reit im Winkel und Häring in Tirol führt er[4] *Operculina complanata* und *O. ammonea* an, und E. Fugger[5] erwähnt die letztere aus dem Mittel-Eozän von Mattsee.

In den Eozänschichten von Guttaring wird das Genus *Operculina* durch *O. Karreri* Penecke vertreten, die nach P. Oppenheim[6] der *O. complanata* ungemein nahe steht.

Das Hauptverbreitungsgebiet der letztgenannten Spezies bilden gegenwärtig die subtropischen und tropischen Regionen des Pazifischen und Indischen Ozeans, wo sie sich mit Vorliebe an den Korallenriffen zwischen dem Litoralsaum und einer Tiefe von 73 *m* aufhält. Fossil kennt man sie seit der obersten Kreide.[7]

---

1 F. Toula, Orbitoiden und Nummuliten führende Kalke vom »Goldberg«, p. 126.

2 Der Name *Operculina granulata* Leym. wurde von C. W. Gümbel irrtümlich statt *O. granulosa* Leym. gebraucht, eine Form, welche nach H. B. Brady (Foraminifera dredged by H. M. S. Challenger, p. 743) nur eine Varietät von *O. complanata* Defr. sp. darstellt.

3 C. W. Gümbel, Foraminiferenfauna der nordalpinen Eozängebilde, p. 85 bis 87.

4 C. W. Gümbel, Geognostische Beschreibung des bayerischen Alpengebirges und seines Vorlandes, 1. Bd. (1861), p. 602 u. 608.

5 E. Fugger, Das Salzburger Vorland. Jahrb. d. k. k. geol. Reichs-A., Bd. XLIX (1899), p. 392.

6 P. Oppenheim, Einige alttertiäre Faunen der österreichisch-ungarischen Monarchie, p. 147.

7 Vgl. H. B. Brady, l. c., p. 744, und R. J. Schubert, Foraminiferen des Bismarckarchipels, p. 96.

Genus Nummulites.

(Taf. III, Fig. 6, Taf. IV, Fig. 6.)

Als C. W. v. Gümbel[1] im Sommer 1889 die merkwürdigen Eozängesteine von Radstadt entdeckte, hielt er die darin in großer Zahl enthaltenen Nummuliten für Angehörige der Gruppe des *Nummulites Lucasanus* und *N. intermedius* und schloß daraus auf die Gleichalterigkeit derselben mit den Schichten von Reit im Winkel (Ligurien = Unter-Oligozän).

Im Jahre darauf kennzeichnete er das Vorkommen der Radstädter Nummuliten mit folgenden Worten:[2] »Diese...Breccienbildung...ist eine aus der jetzigen Oberflächengestaltung nicht zu erklärende Erscheinung, welche noch dadurch bemerkenswerter wird, daß ich in den kalkig-kieseligen Begleitschichten in großer Menge angehäufte, kleine Nummuliten aus der Gruppe der *N. Lucasana* entdeckte. An den Verwitterungsflächen gibt sich die Nummulitenstruktur in ausgezeichneter Weise zu erkennen, dagegen sind die einzelnen Gehäuse so fest mit dem umhüllenden Gestein verwachsen, daß es nicht gelingt, Exemplare mit gut erhaltener Oberfläche herauszuschlagen, um sie sich auf bestimmte Nummuliten-Spezies beziehen zu können. Neben diesen kleinen Nummuliten kommen, wie sich aus angefertigten Dünnschliffen ergibt, auch einzelne Exemplare größerer Arten ...... vor. Diese Nummulitenschichten dürften der Ablagerung von Oberburg in der Steiermark im Alter gleichzustellen sein.«

Während nun auch nach unseren Erfahrungen die in den meisten unserer Radstädter Dünnschliffe (Nr. 1 bis 7, 9 bis 21, 23, 25 bis 31, 33 bis 35) enthaltenen Nummulitendurchschnitte, von wenigen Ausnahmen abgesehen, für eine Artbestimmung nicht auszureichen pflegen, sind wir bei der Untersuchung der auswitternden Nummuliten von mehr Glück begünstigt gewesen als Gümbel. Es ist uns nämlich gelungen, auf der Verwitterungsoberfläche einzelner Gerölle mehrere ganz oder teilweise bloßgelegte, vorwaltend kleine Gehäuse zu beobachten, die infolge der Einwirkung der Atmosphärilien eine charakteristische Schalenskulptur erkennen lassen, die uns ihre Zuweisung zu einigen für das Mittel-Eozän bezeichnenden Arten ermöglicht hat. Darunter befindet sich auch *Nummulites perforatus* de Montf., der offenbar mit Gümbel's *N. Lucasana* identisch ist.[3] Hingegen haben wir kein einziges Exemplar weder auf den typischen *Nummulites intermedius* d'Arch.[4], noch auf den oft mit ihm verwechselten *N. Fabianii* Prev.[5] beziehen können, womit jedes Argument zugunsten einer Parallelisierung des Radstädter Alttertiärs mit den oligozänen Ablagerungen von Reit im Winkel oder von Oberburg entfällt.

Erwähnenswert dünkt es uns zu sein, daß wir bei einigen unserer Gehäuse, deren für die Bestimmung benötigte Schalenskulptur gar nicht oder bloß undeutlich sichtbar war, wie bei verschiedenen derartigen als Vergleichsobjekte herangezogenen kalkig-mergeligen Nummuliten von anderen Fundorten, jene durch Behandlung der Exemplare mit Ätzkali befriedigendermaßen zum Vorschein bringen konnten. Mit einer Seite auf eine Glasplatte oder in ein Porzellanschälchen gelegt, werden die Nummuliten auf ihrer oberen Seite mit den weißen krystallinischen Ätzkalistückchen bedeckt. Wenn nach einer Reihe von Stunden diese äußerst hygroskopische Substanz zerflossen ist, spült man sie gründlich mit Wasser ab und gewahrt nun auf der geätzten Schalenoberfläche, bald mehr, bald weniger deutlich, die früher vermißte Filets- und eventuell vorhandene Granulationszeichnung. Anwendung von Salzsäure hat uns hingegen in solchen Fällen zu keinem befriedigenden Resultate verholfen.

---

[1] C. W. v. Gümbel, Über einen Nummulitenfund bei Radstadt, p. 231 bis 232.

[2] C. W. v. Gümbel, Geologische Bemerkungen über die warmen Quellen von Gastein und ihre Umgebung, p. 383 bis 384.

[3] Vgl. J. Boussac, Nummulitique alpin, p. 66 ff.

[4] Vgl. J. Boussac, l. c., p. 84 ff.

[5] Vgl. J. Boussac, l. c., p. 79 ff.

Auch das Eozän des Kirchberger Goldberges, welches F. Toula[1] für Ober-Eozän zu halten und den Orbitoiden- und Nummulitenkalken an der Basis der Ofener Mergel oder den oberen Etagen der Priabonagruppe gleichzustellen geneigt war, hat sich wie die Radstädter Foraminiferengesteine als Mittel-Eozän erwiesen: ein hier seinerzeit von Herrn Hofrat Prof. Dr. F. Toula freigewittert gefundenes und in der geologischen Sammlung der Wiener Technik aufbewahrtes Schälchen, das mir Herr Dr. J. Porsche zu zeigen die Liebenswürdigkeit hatte, ist bereits vor ein paar Jahren von Dr. R. J. Schubert als ungeschlechtliches (*A*-)Exemplar der *Assilina granulosa* d'Arch. = *A. exponens* Sow.[2] erkannt worden, und auf diese Spezies können wir auch einige der in unseren Kirchberger Schliffen Nr. 39 und VI sichtbaren Nummuliten-Schnitte beziehen. Offenbar sind auch F. Karrer[3] derartige Schnitte vorgelegen, die er in die Verwandtschaft von *Nummulites* (*Assilina*) *spira* de Roiss.[4] stellen wollte.

Schließlich gehört auch das von H. Mohr entdeckte Nummulitengestein von Wimpassing[5], dessen von uns untersuchte Dünnschliffe Nr. 36, 37 und IV mehrere Assilinen-Schnitte vom Typus der *Assilina exponens* Sow. zeigen, jedenfalls dem Mittel-Eozän (wohl Lutétien) an.

Das weitgefaßte Genus *Nummulites* umfaßt außer den flachen Formen, die einfach aufeinander ruhende und daher insgesamt äußerlich sichtbare Windungen besitzen und als engere Gattung *Assilina* bezeichnet werden, noch die meist dickeren als Gattung *Nummulina* angesprochenen Gehäuse, deren Umgänge sich vollständig bedecken, indem ihre die jeweils vorangehende Windung umfassenden Seitenflügel bis zum Zentrum reichen.

Nummulina ist nun 1902 von P. L. Prever[6] nach der verschiedenartigen Ausbildung der Filets cloisonnaires und dem Vorhandensein oder Fehlen von Pfeiler-Granulationen an der Schalenoberfläche in die vier Untergattungen *Bruguiereia* und *Laharpeia* (zusammen als *Camerina*), *Gümbelia* und *Hantkenia* (zusammen als *Lenticulina* bezeichnet) zerlegt worden, welch letzteren Subgenusnamen — *Hantkenia* — er aber 1912 aus Nomenklaturgründen durch den Ausdruck *Paronaea* ersetzen mußte.[7] Wenn nun auch, wie R. J. Schubert[8] bemerkt hat, diese Gliederung keine allgemein durchgreifende ist, so wollen wir doch, seinem Beispiel folgend, obige Subgenus-Bezeichnungen dem Gattungsnamen eingeklammert beifügen, nachdem sie schon vielfach in die Literatur Eingang gefunden haben.

Die Mehrzahl der von uns unterschiedenen Nummuliten-Spezies entspricht der Untergattung *Paronaea*. *Gümbelia* ist bloß durch eine einzige Art, *G. perforata*, vertreten.

Was ferner die Größenverhältnisse der von uns untersuchten ausgewitterten oder in den Dünnschliffen enthaltenen und bei durchfallendem Lichte weiß oder gelblich erscheinenden Nummulitengehäuse betrifft, so handelt es sich hauptsächlich um recht kleine Exemplare. Ihr Durchmesser hält sich zumeist zwischen weniger als 1 *mm* und zirka 8 *mm*. Relativ ansehnliche Stücke, die ich zu *Nummulites perforatus* stellen möchte, sind auf zwei zu den Schliffen Nr. 13 und 20 gehörigen Geröllen von Radstadt sichtbar. Ihr Durchmesser beträgt 15 bis 19 *mm* und ihre Dicke 5 bis 7 *mm*. Einen noch größeren Diameter (zirka 30 *mm*) muß aber ein im Radstädter Schliff Nr. 3 wahrnehmbarer, fragmentärer Querschnitt von flacher Gestalt besessen haben, welcher etwa 3 *mm* breit ist.

Sowohl bei den Assilinen als bei den Nummulinen, von welch letzteren wir Schnitte in den Radstädter Schliffen Nr. 1 bis 7, 9 bis 21, 25 bis 29, 34 bis 35 und in den Kirchberger Schliffen Nr. 39 und VI bemerken, sind, den vorherrschend geringen Dimensionen der Schälchen entsprechend,

---

[1] F. Toula, Orbitoiden und Nummuliten führende Kalke vom »Goldberg«, p. 135.

[2] Vgl. J. Boussac, Nummulitique alpin, p. 100 ff.

[3] Vgl. F. Toula, l. c., p. 126.

[4] Die engen Beziehungen und Übergänge zwischen *Assilina spira* und *A. exponens* sind kürzlich von J. Boussac, l. c. p. 100 u. 106, betont worden.

[5] H. Mohr, Grauwackenzone zwischen Schneeberg und Wechsel, p. 204.

[6] P. L. Prever, Nummuliti della Forca di Presta, p. 10 bis 13.

[7] P. L. Prever, Fauna a Nummuliti e ad Orbitoidi dell'Aniene, p. 240.

[8] R. J. Schubert, Nördliche Adria, p. 16.

Exemplare der makrosphärischen (ungeschlechtlich erzeugten oder *A*-) Generation entschieden zahlreicher vorhanden (Taf. IV, Fig. 6) als solche der mikrosphärischen (geschlechtlich erzeugten oder *B*-) Generation (Taf. III, Fig. 6).[1]

Da die sie beherbergenden Gesteine ihrer petrographischen Beschaffenheit und Fossilführung (Lithothamnien etc.) nach strandnahe Bildungen darstellen, könnten wir in diesem Umstande eine Analogie zu der von Arn. Heim gemachten Beobachtung erblicken, daß in den neritischen Ablagerungen des Schweizer Eozäns die megasphärischen Nummuliten häufiger erscheinen als die mikrosphärischen, während in den bathyalen Sedimenten das umgekehrte Verhältnis herrscht.[2]

Nummulites (Assilina) exponens Sow.

(Taf. I, Fig. 11, Taf. II, Fig. 10.)

1868. *Nummulites exponens* C. W. Gümbel, Foraminiferenfauna der nordalpinen Eozängebilde, p. 91.
1868. — *granulosa* C. W. Gümbel, l. c., p. 91.
1868. — *mamillata* C. W. Gümbel, l. c., p. 91.
1882. — *exponens* H. Abich, Geologie des armenischen Hochlandes, I., p. 248, Taf. 9, Fig. 6, 6 *a*.
1882. — *granulosa* H. Abich, l. c., p. 248, Taf. 9, Fig. 5, 5 *a*.
1884. — *exponens* K. A. Penecke, Eozän des Krappfeldes, p. 19.
1911. *Assilina exponens* J. Boussac, Nummulitique alpin, p. 100 (cum synonymis).
1912. — — P. L. Prever, Fauna a Nummuliti e ad Orbitoidi dell' Aniene, p. 114.
1912. — *mamillata* P. L. Prever, l. c., p. 115.

Diese Art tritt uns in zahlreichen Schnitten (Querschnitten) der Radstädter Schliffe Nr. 5 bis 7, 9, 11, 12, 14, 18 bis 21, 23 bis 31, 33, 35 und in vielen Schälchen entgegen, welche an der Oberfläche der meisten zu diesen Dünnschliffen gehörigen Gerölle ausgewittert sind. Ferner enthalten die Schliffe Nr. 39 von Kirchberg und Nr. 36, 37 und IV von Wimpassing derartige Durchschnitte. Ein schönes freigewittertes Exemplar vom Kirchberger Goldberg liegt in der geologischen Sammlung der Wiener Technik.[3]

Der Durchmesser unserer Schälchen hält sich zumeist zwischen 1 und 5 *mm*, erreicht aber gelegentlich auch eine Größe bis zu 8 *mm*.

Die aus unregelmäßig gehäuften Granulationen in der Mitte und von ihnen gegen außen radial ausstrahlenden Pfeilern bestehende Oberflächenverzierung, welche besonders schön bei den auswitternden Exemplaren des dem Schliffe Nr. 14 entsprechenden Radstädter Gerölles zu beobachten ist, folgt den von Arn. Heim für *Assilina exponens, mamillata* oder *granulosa* gegebenen Abbildungen.[4]

Assilina exponens ist eine für das Mittel-Eozän (ganzes Lutétien, seltener Auversien)[5] bezeichnende Spezies von ungemein weiter Verbreitung. Man kennt sie aus Spanien, Südfrankreich, den Schweizer Alpen, Südbayern (Grünten, Kressenberg, Siegsdorf), Salzburg (Mattsee)[6], Kärnten (Guttaring), Italien,

---

[1] Vgl. über den Generationswechsel (Dimorphismus) der Nummuliten Arn. Heim, Nummuliten- und Flyschbildungen der Schweizer Alpen, p. 208, Fußnote 3, und p. 275 ff. Die in unseren Nummuliten-Schnitten beobachteten Anfangskammern lieferten Durchmesserwerte von zirka 100 bis 600 μ.

[2] Arn. Heim, l. c., p. 161 u. 277; über den biolithologischen Charakter der Nummulitiden vgl. auch unsere Fußnote 2, p. 87 [257].

[3] Vgl. diese Abhandlung p. 79 [249].

[4] Vgl. Arn. Heim, Nummuliten- und Flyschbildungen der Schweizer Alpen, Taf. VII bis VIII.

[5] J. Boussac nennt l. c., p. 102 u. 103 als Niveau das Lutétien und Auversien, welch letzteres von vielen Autoren als Ober-Lutétien bezeichnet wird.

[6] Vgl. O. M. Reis, Vorderalpenzone zwischen Bergen und Teisendorf, I, Geognost. Jahreshefte, VIII. Jahrg., p. 55.

dem kroatisch-dalmatinischen Litorale [1], den rumänischen Karpathen, der Krim, Thrazien, Klein-Asien, Armenien, Indien, Java, Madagaskar und Algier.

Nummulites (Paronaea) irregularis Desh.

(Taf. IV, Fig. 7.)

1863. *Nummulites Lyelli* K. E. Schafhäutl, Kressenberg, p. 104, Taf. XIII, Fig. 2 *a* bis *h*.

1904. *Lenticulina irregularis* G. Checchia-Rispoli, Foraminiferi eocenici del M. Judica, p. 44.

1911. *Nummulites irregularis* J. Boussac, Nummulitique alpin, p. 18, Taf. I, Fig. 17, 21, 22 (cum synonymis).

1912. *Paronaea irregularis* P. L. Prever, Fauna a Nummuliti e ad Orbitoidi dell' Aniene, p. 10, 16, 21, 241.

Der unregelmäßige Verlauf und die im Verhältnis zu den Septen beträchtliche Stärke der Spirallamina kennzeichnen zwei in den Radstädter Schliffen Nr. 12 und 18 gelegene Längsschnitte von 3·4, respektive 8·3 *mm* Durchmesser als zu *Nummulites irregularis* gehörig.

Wie die Untersuchung des Gerölles, von dem der Schliff Nr. 12 stammt, zeigt, erscheinen hier noch *Assilina exponens* Sow. und *Nummulites Murchisoni* Brunn. als seine Begleiter.

Während sich *Nummulites irregularis* nach P. L. Prever [2] in Italien mancherorts bereits im Unter-Eozän (Suessonien) findet, pflegt sein Auftreten sonst an das Lutétien und zwar mit Vorliebe an dessen untere Abteilung [3] geknüpft zu sein.

Man kennt ihn aus dem Lutétien von Südfrankreich, der Schweizeralpen, Südbayerns (Sonthofen, Kressenberg), Salzburgs (Mattsee), Italiens (Vizentin etc.), Istriens, der Krim, von Tunis und Algier.

Nummulites (Paronaea) Murchisoni Brunn.

1868. *Nummulites Murchisoni* C. W. Gümbel, Foraminiferenfauna der nordalpinen Eocängebilde, p. 90

1901. — — P. Oppenheim, Alttertiäre Faunen der österreichisch-ungarischen Monarchie, p. 147

1911. — — J. Boussac, Nummulitique alpin, p. 23, Taf. IV, Fig. 6 (cum synonymis).

1912. *Paronaea Heeri* P. L. Prever, Fauna a Nummuliti e ad Orbitoidi dell'Aniene, p. 107 (cum synonymis).

An der Oberfläche des sandig-kalkigen Gerölles von Radstadt, welches den Schliff Nr. 12 geliefert hat und auch *Assilina exponens* Sow. und *Nummulites irregularis* Desh. beherbergt, sind durch die Verwitterung ziemlich zahlreiche, linsenförmige Nummuliten-Schälchen zum Vorschein gekommen, die größtenteils recht bescheidene Dimensionen (von bloß ein paar Millimetern) und nur ausnahmsweise einen Durchmesser von 8 *mm* und eine Dicke von zirka 1 *mm* erreichen. Ich glaube dieselben so wie einige bis 9 *mm* große Gehäuse, welche, begleitet von *Nummulites perforatus* Montf. und Orthophragminen, an der Verwitterungsoberfläche des zum Schliffe Nr. 20 gehörigen, konglomeratisch-sandigen Radstädter Gerölles sichtbar sind, nach ihrer Gestalt, den engstehenden und zum Teil flachsigmoidal geschwungenen Filets cloisonnaires [4] und dem relativ raschen Anwachsen der Spira, die wir an der Länge nach aufgebrochenen Stücken wahrnehmen, zu *Nummulites Murchisoni* rechnen zu können.

Bei den kleinen, verhältnismäßig stärker gewölbten Individuen fällt allerdings, wie bereits Ph. de la Harpe [5] und J. Boussac [6] bemerkt haben, die Unterscheidung dieser Art von *Nummulites irregularis* außerordentlich schwer.

---

[1] Vgl. R. J. Schubert, Nördliche Adria, p. 155 und 159, Derselbe, Dalmatien, p. 16 u. 35.

[2] P. L. Prever, Fauna a Nummuliti e ad Orbitoidi dell'Aniene, p. 16 (Tabelle) u. p. 21 (Tabelle).

[3] Vgl. J. Boussac, Sur le terrain nummulitique a Biarritz et dans le Vicentin, p. 558 bis 559 (Tabelle).

[4] Vgl. besonders Ph. de la Harpe, Nummulites da la Suisse, Taf. IV, Fig. 6.

[5] Ph. de la Harpe, l. c., p. 153 u. 156.

[6] J. Boussac, Nummulitique alpin, p. 25.

Das ganze Lutétien, am häufigsten aber dessen untere Abteilung[1], bildet das Lager von *Nummulites Murchisoni*, den wir aus Südfrankreich, den Schweizeralpen, Südbayern (Bolgen bei Sonthofen, Kressenberg), Kärnten (Guttaring), Italien (Vizentin) und der mährischen Flyschzone (Silimau bei Ungarisch-Hradisch)[2], von Borneo und Celebes kennen.

Nummulites (Paronaea) atacicus Leym.

1863. *Nummulites modiolus* K. E. Schafhäutl, Kressenberg, p. 99, Taf. LXV, b. Fig. 20 *a—c*.

1868. — *biarritzensis* C. W. Gümbel, Foraminiferenfauna der nordalpinen Eocängebilde, p. 89.

1901. — *atacicus* P. Oppenheim, Alttertiäre Faunen der österreichisch-ungarischen Monarchie, p. 147.

1901. — *Guettardi* P. Oppenheim, l. c., p. 147.

1901. — — A. Martelli, Fossili di Paxos e Antipaxos, p. 426.

1902. — *biarritzensis* var. *praecursor* F. Chapman, Alveolina-Limestone from Egypt, p. 110.

1902. — *Guettardi* var. *antiqua* F. Chapman, l. c., p. 110.

1904. *Lenticulina Guettardi* G. Checchia-Rispoli, Foraminiferi eocenici del M. Judica, p. 47, Taf. II, Fig. 4—6.

1911. *Nummulites atacicus* J. Boussac, Nummulitique alpin, p. 28, Taf. II. Fig. 26, Taf. III, Fig. 15, Taf. V, Fig. 14 (cum synonymis).

1912. *Paronaea atacica* P. L. Prever, Fauna a Nummuliti e ad Orbitoidi dell' Aniene, p. 86 (cum synonymis).

?1912. — *Guettardi* (pars) P. L. Prever, l. c., p. 88.

1912. *Nummulites (Paronaea) biarritzensis* (= *atacica*) R. J. Schubert, Nördliche Adria, p. 18 u. 160, Fig. 32 u. 33.

1913. — *atacicus* G. Checchia-Rispoli, Foraminiferi di S. Marco la Catola, p. 111, Taf. VI, Fig. 7.

An der Oberfläche des sandig-kalkigen Gerölles von Radstadt, welches unsere Dünnschliffe Nr. 8 bis 10 geliefert hat, gewahren wir eine ungefähr zur Hälfte ausgewitterte, linsenförmige Nummuliten-Schale von zirka 5·5 *mm* Durchmesser, deren deutlich sichtbare Filets cloisonnaires sie als *Nummulites atacicus* bestimmen lassen. Insbesondere erinnert der Verlauf dieser etwas unregelmäßig undulierten Linien an eine von K. E. Schafhäutl veröffentlichte Abbildung seines *N. modiolus*[3], welcher nach Ph. de la Harpe[4] mit *N. biarritzensis* und demnach mit *N. atacicus* synonym ist.

Diese für das Mittel-Eozän (besonders das obere Lutétien) charakteristische Spezies ist bisher in Spanien (Pyrenäen), Südfrankreich, den Schweizeralpen, Südbayern (Sonthofen, Siegsdorf, Kressenberg), Salzburg (Mattsee), Kärnten (Guttaring), dem Vizentin, Mittel- und Unteritalien, der mährischen Flyschzone (Silimau bei Ungarisch-Hradisch)[5], dem österreichisch-ungarischen Litorale[6], Paxos, der Krim, in Thrazien, Klein-Asien, Indien (fide d'Archiac et Haime), Borneo, Madagaskar, Ägypten, Tunis und Algier aufgefunden worden.

---

[1] Vgl. H. Douvillé, Le terrain nummulitique du bassin de l'Adour. Bull. de la Soc. géol. de France, 4. sér., tom. V. (1905), Tabelle p. 55.

[2] R. J. Schubert, Über mitteleozäne Nummuliten aus dem mährischen und niederösterreichischen Flysch, p. 124.

[3] K. E. Schafhäutl, Kressenberg, Taf. LXV *b*, Fig 20 *a*.

[4] Ph. de la Harpe, Nummulites de la Suisse, p. 20 (Tabelle).

[5] R. J. Schubert, Über mitteleozäne Nummuliten aus dem mährischen und niederösterreichischen Flysch, p. 124.

[6] Vgl. R. J. Schubert, Nördliche Adria, p. 159.

Nummulites (Paronaea) millecaput Boub.

1868. *Nummulites complanata* C. W. Gümbel, Foraminiferenfauna der nordalpinen Eocängebilde, p. 88.
1868. — *Dufrenoyi* C. W. Gümbel, l. c., p. 88.
1884. — *complanatus* K. A. Penecke, Eozän des Krappfeldes, p. 19.
1901. — *complanata* A. Martelli, Fossili di Paxos e Antipaxos, p. 420.
1904. *Lenticulina Tchihatcheffi* G. Checchia-Rispoli, Foraminiferi eocenici del M. Judica, p. 49.
1911. *Nummulites millecaput* J. Boussac, Nummulitique alpin, p. 93, Taf. I, Fig. 7, 15, Taf. IV, Fig. 15, Taf. V, Fig. 9, 10 (cum synonymis).
1912. *Paronaea complanata* (= *P. millecaput*) P. L. Prever, Fauna a Nummuliti e ad Orbitoidi dell' Aniene, p. 4.
1912. *Nummulites* (*Paronaea*) *complanata* (= *millecaput*) R. J. Schubert, Nördliche Adria, p. 16, 17, Fig. 7, p. 18, 179, Fig. 38.
1913. — *millecaput* G. Checchia-Rispoli, Foraminiferi di S. Marco la Catola, p. 115, Taf. V. Fig. 42—45.

In den Radstädter Dünnschliffen Nr. 1 bis 4, ferner in Nr. 16, 17, 34 und 35 liegende Schnitte sowie viele Schälchen, welche an der Oberfläche der beiden dazugehörigen, an Orthophragminen reichen Gerölle eines gelblichweißen und eines grau-rot-sprenkeligen Kalksteines auswittern, lassen sich am besten auf *Nummulites millecaput* beziehen.

Die auswitternden Exemplare erreichen einen Durchmesser bis zu 6 *mm*. Auf größere Dimensionen (rekonstruierter Durchmesser von zirka 3 *cm*) weist nur ein einziges in Schliff Nr. 3 enthaltenes Schnittfragment von 4 *mm* Dicke hin, welches sich gut mit dem von J. Boussac, l. c., Taf. IV, Fig. 15, dargestellten Querschnitt vergleichen läßt.

Die kleineren und dickerlinsenförmigen Transversalschnitte unserer Dünnschliffe erinnern durch die Gestalt ihres Spiralkanales und die oft sichtbaren, relativ großen Embryonalkammern insbesondere an die von F. J. Kaufmann unter dem Namen *Nummulites helvetica* reproduzierten Schnittbilder.[1]

Nummulites millecaput findet sich hauptsächlich im Mittel-Eozän (namentlich im mittleren und oberen Lutétien), steigt aber in manchen Regionen auch in höhere Niveaus empor. So tritt er nach R. J. Schubert in den österreichischen Adrialändern stellenweise auch im Ober-Eozän und nach P. L. Prever[2] und G. Checchia-Rispoli (l. c.) in Italien im Ober-Eozän und selbst zuweilen im Unter-Oligozän auf.

Sein Verbreitungsgebiet umfaßt Südfrankreich, die Schweizeralpen, Südbayern (Grünten, Siegsdorf, Kressenberg, Adelholzen), Salzburg (Mattsee)[3], Kärnten (Guttaring), Italien (veronesisch-vizentinische Region, Apenninen, Sizilien), das österreichische Litorale (besonders Dalmatien)[4], Paxos und Ungarn.

Nummulites (Gümbelia) perforatus de Montf.

1868. *Nummulites perforata* C. W. Gümbel, Foraminiferenfauna der nordalpinen Eozängebilde p. 89.
1882. — — H. Abich, Geologie des Armenischen Hochlandes, I, p. 247, Taf. 9, Fig. 7 Taf. 11, Fig. 9.
1884. — *Lucasanus* K. A. Penecke, Eozän des Krappfeldes, p. 19.

---

1 F. J. Kaufmann, Pilatus, Taf. VIII, Fig. 1 bis 12.

2 P. L. Prever, Nummuliti della Forca di Presta, p. 119 (Tabelle).

3 Da E. Fugger (Das Salzburger Vorland. Jahrb. d. k. k. geol. Reichs-A., Bd. XLIX. p. 392) einen wohl zu *Nummulites millecaput* gehörigen *N. complanatus* Lam. anführt.

4 R. J. Schubert, Dalmatien, p. 16, 35.

1884. *Nummulites perforatus* K. A. Penecke, l. c., p. 19.

1911. — — J. Boussac, Nummulitique alpin, p. 66, Taf. III, Fig. 1 bis 7, 13, 14, 16 (cum synonymis).

1912. *Gümbelia lenticularis* P. L. Prever, Fauna a Nummuliti e ad Orbitoidi dell' Aniene, p. 78 (cum synonymis).

1912. — *Meneghinii* P. L. Prever, l. c., p. 80 (cum synonymis).

1912. *Nummulites (Gümbelia) perforata* R. J. Schubert, Nördliche Adria, p. 13, Fig. 6, p. 17, 18, p. 179, Fig. 36, 37.

non 1911. — *Lucasanus* J. Boussac, l. c., p. 52, Taf. II, Fig. 14, 15 (cum synonymis).

An der Oberfläche der sandig-konglomeratischen Eozängerölle von Radstadt, aus denen die Dünnschliffe Nr. 13 und 20 angefertigt worden sind, sehen wir zahlreiche, weißliche und verhältnismäßig große Nummuliten-Schalen auswittern, die wohl dem *Nummulites perforatus* angehören. Das ansehnlichste dieser Stücke, welche am besten den von D'Archiac und Haime gelieferten Figuren [1] entsprechen und wie diese hinsichtlich ihrer Dicke gewissen Schwankungen unterworfen sind, besitzt einen maximalen Durchmesser von 19 *mm* und eine größte Dicke von zirka 7 *mm*.

An dem zu Schliff Nr. 20 gehörigen Gerölle scheint mir die Art von vereinzelten Exemplaren des *Nummulites Murchisoni* Brunn. begleitet zu sein.

Als *N. perforatus* konnten wir auch einige bis 20 *mm* große und 6·5 *mm* dicke, graugefärbte Gehäuse bestimmen, die 1852 von Exz. R. v. Hauer erworben, in der paläontologischen Sammlung (Foraminiferenkollektion) des k. k. naturhistorischen Hofmuseums liegen (Acquisitions-Nr. 1852 I, 1067) und die Lokatitätsangabe »Abtenau« aufweisen. Leider ist dieses Vorkommen, welches eventuell großes Interesse verdienen würde, durch keine späteren geologischen Feldbeobachtungen gesichert worden und daher die Möglichkeit, es könnte sich dabei um eine Fundortsverwechslung handeln, nicht ganz ausgeschlossen.

Nummulites perforatus ist eine für das Mittel-Eozän (ganzes Lutétien und Auversien) [2] charakteristische Spezies, die bisher in Spanien (Balearen, Pyrenäen), Südfrankreich, den Schweizeralpen, Südbayern (Grünten, Kressenberg) [3], Salzburg (Mattsee) [4], Kärnten (Guttaring), dem veronesisch-vizentinischen Gebiete und den Apenninen, dem österreichischen Litorale (Dalmatien) [5], Paxos, der mährischen Flyschzone (Silimau bei Ungarisch-Hradisch) [6], Ungarn, der Tatra (Zakopane), Algier, Ägypten, Armenien und Indien (Cutch) festgestellt worden ist.

Cycloclypeus nov. spec.

(Taf. IV, Fig. 8, 9.)

Im Schliffe Nr. VII von Kirchberg liegt nur ein schmaler, langgestreckter Querschnitt vor, welcher habituell sehr an den von F. Chapman aus dem Unter-Miozän von Santo (Neue Hebriden) abgebildeten eines *Cycloclypeus* (*C. pustulosus* Chpm.?) [7] erinnert, sich aber von ihm durch viel (zwei- bis dreifach) kleinere Dimensionen der Schale und Kammern unterscheidet.

---

[1] Unter den von J. Boussac, l. c., zusammengestellten Synonymen angeführt.

[2] Das von J. Boussac, l. c., p. 71, neben dem Lutétien angegebene Auversien wird von vielen Autoren als Ober-Lutétien bezeichnet.

[3] Vgl. O. M. Reis, Vorderalpenzone zwischen Bergen und Teisendorf. Geognost. Jahreshefte, VIII. Jahrg., p. 24, 26 etc.

[4] Vgl. O. M. Reis, l. c., p. 55.

[5] Vgl. R. J. Schubert, Dalmatien, p. 16 u. 35. Derselbe. Nördliche Adria, l. c.

[6] Vgl. R. J. Schubert, Über mitteleozäne Nummuliten aus dem mährischen und niederösterreichischen Flysch, p. 124.

[7] F. Chapman, Foraminiferal rocks on the west coast of Santo, p. 271, Taf. V, Fig. 1.

Die Gesamtlänge unseres Schnittes, der sich von seiner Mitte gegen die beiden Enden hin allmählich etwas verschmälert, beträgt zirka 1·5 *mm*, seine maximale Dicke 66 μ.

Von der zirka 16 μ starken, kompakten oberen und unteren Schalenwand wird eine ungefähr ebenso hohe Reihe von etwa 50 rechteckig erscheinenden Kammern eingeschlossen. Die Länge derselben ist einigermaßen schwankend. Im mittleren Schalenteile kommen zehn davon auf eine Strecke von 280 μ zu liegen, was einer durchschnittlichen Kammerlänge von 28 μ entsprechen würde.

Da die in unserem Schliffe als dunkle, zirka 3 bis 4 μ breite Vertikallinien sichtbaren Septen, welche die benachbarten Kammerräume voneinander scheiden, über den Kammerbereich hinaus in die obere und untere Schalenwand hineinragen, übertrifft ihre Länge (zirka 30 μ) die Höhe der Kammerlumina merklich, ein Verhältnis, welches sich auch an den von K. Martin dargestellten Querschnitten von *Cycloclypeus annulatus* Mart. [1] vorfindet. Doch weicht unsere Spezies von dieser aus dem Miozän des malayischen Archipels bekannt gewordenen Art abgesehen von den viel geringeren Dimensionen durch das Fehlen von ringförmigen — im Querschnitte als knotige Höcker erscheinenden — Schalenverdickungen ab.

Falls der untersuchte Querschnitt, wie es wahrscheinlich ist, das Gehäuse nicht randlich, sondern nahe seiner Mitte durchsetzt, würde dieses eine flachscheibenförmige Gestalt ohne jene oberflächlichen buckel- oder protuberanzenartigen Verstärkungen der Zentralpartie besitzen, die für die Gattung *Cycloclypeus* gewöhnlich bezeichnend sind.

Eine Verwechslung mit der im Folgenden beschriebenen, ebenso zarten und ähnlich gestalteten *Orthophragmina discus* Rtm. sp. var. n. *minima* ist durch den Mangel jeglicher Sekundärkämmerchen innerhalb der dicken oberen und unteren Schalenwände wohl ausgeschlossen.

Wenngleich die von einigen Forschern, wie A. Silvestri[2], R. J. Schubert[3] und L. Rutten[4] in verschiedenen Äquatorialschnitten festgestellte spirale Anordnung der innersten Kammern von *Cycloclypeus* gewisse Stammesbeziehungen dieser Gattung zu *Heterostegina* verraten mag, so ist doch ihre in dem sich bald einstellenden zyklisch-rektangulären Kammerbau ausgeprägte Verwandtschaft zu *Orbitoides* (*Orthophragmina*) entschieden viel augenfälliger und hat wohl mit Recht F. Chapman[5] und P. L. Prever[6] dazu geführt, beide Gattungen unter der Bezeichnung *Cycloclypeinae*, respektive *Orbitoidinae* als eine Unterfamilie der *Nummulinidae* zusammenzufassen.

Aus dem Eozän ist das Vorkommen des Genus *Cycloclypeus* bisher nur ganz vereinzelt festgestellt worden: So hat P. L. Prever[7] eine wahrscheinlich zu *Cycloclypeus communis* Mart. gehörige Form im tieferen Eozän (Suessonien oder Unter-Lutétien) des Anienegebietes östlich von Rom beobachtet und K. Martin[8] einen *Cycloclypeus* sp. gelegentlich einer Tiefbohrung im Eozän von Ngembak auf Java angetroffen.

Der weiße Kalkstein von Takah an der Südostküste Arabiens, aus welchem H. J. Carter[9] seinen *Cycloclypeus mammillatus* beschrieben hat, dürfte kaum, wie A. Silvestri[10] meint, eozänen, sondern höchstens oligozänen Alters sein.

---

[1] K. Martin, Die Foraminiferen führenden Gesteine. Studien über *Cycloclypeus* und *Orbitoides*. p. 4, Taf. I, Fig. 3 bis 4 (Anhang zu »Die Fossilien von Java«, I. Bd., Sammlungen d. geol. Reichsmus. in Leiden, N. F., Bd. I, 1. Abt., Leiden, 1891 bis 1906).

[2] A. Silvestri, Sui generi Operculina, Heterostegina, Cycloclypeus, p. 58 bis 59.

[3] R. J. Schubert, Foraminiferen des Bismarckarchipels, p. 98 und Derselbe, Foraminiferenfauna von Celebes, p. 147 bis 148.

[4] L. Rutten, Studien über Foraminiferen aus Ostasien (Forts.), p. 304 bis 305.

[5] F. Chapman, The Foraminifera, p. 245.

[6] P. L. Prever, Osservazioni sulla sottofamiglia delle Orbitoidinae, p. 117 u. 119.

[7] P. L. Prever, Fauna a Nummuliti e ad Orbitoidi dell'Aniene, p. 26 u. 121.

[8] K. Martin, Sammlungen d. geol. Reichsmus. in Leiden, Ser. I, Bd. 3, p. 326 u. 331.

[9] H. J. Carter, On the fossil Foraminifera of Scinde. Ann. and Mag. Nat. Hist., Ser. 3, Vol. 8, p. 461.

[10] A. Silvestri, Sui generi Operculina, Heterostegina, Cycloclypeus, p. 54.

Größere Häufigkeit erlangt unsere Gattung im Oligozän und namentlich im Miozän von Sumatra, Java, Madura, Borneo, Celebes, von Neu-Guinea, des Bismarckarchipels, der Neuen Hebriden (Santo) und der australischen Provinz Victoria (Batesford Limestone). Man kennt sie ferner aus dem Pliozän von Java und dem Quartär von Celebes.

Ihre rezenten Vertreter bewohnen als typische Benthos-Formen fast ausschließlich die tropischen und subtropischen Seichtseegebiete des Pazifischen (Freundschaftsinseln [Tongatabu], Fidschiinseln [Kandavu], Elliceinseln [Funafuti], Salomonen, chinesische Südsee [Macclesfieldbank], Borneo) und des Indischen Ozeans (Laccadiven, Mauritius), wo man sie meist in einer Tiefe von zirka 50 bis 400 *m* (am häufigsten von ungefähr 100 *m*) auf koralligenem Sandboden nahe den Korallenriffen findet. Die größte Tiefe, aus der ein *Cycloclypeus* — von der »Penguin« — gedredscht worden ist, betrug 978 *m*. Höchst merkwürdig ist das von A. Silvestri[1] erwähnte Vorkommen von *Cycloclypeus Carpenteri* Brd. (= *C. communis* Mart.) bei Crkvenic an der kroatisch-dalmatinischen Küste, der einzigen Stelle, an welcher eine lebende *Cycloclypeus*-Art bisher innerhalb der gemäßigten Zone festgestellt worden ist.

Genus **Orthophragmina**.

(Taf. V, Fig. 1, 2.)

Während die Orthophragminen-Schälchen im Gegensatze zu den Nummuliten nur höchst selten und undeutlich auf der Verwitterungsfläche unserer Eozängesteine zum Vorscheine kommen, sind sie in vielen der untersuchten Dünnschliffe und zwar oft in überraschender Menge sichtbar. Wir beobachteten sie in den Radstädter Schliffen Nr. 1 bis 5, 8, 10, 13, 14, 16, 17, 20, 25 bis 29, 34, 35, in den Kirchberger Schliffen Nr. 38, 39, V, VI, VII, IX und in den Wimpassinger Schliffen[2] Nr. 36, 37, I, III, IV.

Ihr Durchmesser beträgt zumeist nur 0·5 bis 4 *mm*, selten mehr. Das größte Exemplar (Querschnitt), welches wir auf einer Anschlifffläche des zu den Schliffen Nr. 1 bis 4 gehörigen Radstädter Gerölles beobachtet und als *Orthophragmina Pratti* Mich. sp. bestimmt haben, besitzt eine Länge von 12 *mm* bei einer Dicke von etwas über 1 *mm*.

Bei durchfallendem Lichte erscheinen die zur Ober- und Unterseite der Orthophragminen-Gehäuse parallelen Schalenwände hell, die die einzelnen Median- und Nebenkammerräume voneinander scheidenden Vertikalwände aber dunkel. Bei den Gehäusen vom Goldberg bei Kirchberg sind oft die Lumina der Kammern und zuweilen auch die sie miteinander verbindenden Kanälchen durch eine limonitische Infiltration gelbbraun verfärbt, ein Erhaltungszustand, wie er sich ähnlich häufig bei den Orthophragminen von Kressenberg in Bayern findet.

Die für die Gattungsdiagnose, also die Unterscheidung von anderen Orbitoiden maßgebenden Längs- oder Horizontalschnitte, welche die Median(Äquatorial)kammern als Orthogone zeigen, sind in den vorliegenden Dünnschliffen nur ausnahmsweise streng durch die Mittelkammerschichte geführt. Einen derartigen im Radstädter Schliff Nr. 26 enthaltenen »Äquatorialschnitt« stellt Taf. V, Fig. 2, dar

Ungleich häufiger sind natürlich nur ungefähre Längsschnitte, welche gegen die Fläche der Mediankammern schwach geneigt sind und daher die rechteckige Gestalt der letzteren bloß stellenweise in kleineren Zonen innerhalb des unregelmäßig-polygonalen Maschenwerkes der Nebenkammern hervortreten lassen. Solche Sektionen, von denen wir eine im Schliff Nr. 13 von Radstadt sichtbare abbilden (Taf. V, Fig. 1), bemerken wir u. a. auch in den Dünnschliffen Nr. 1, 38, 39, III, IV, VII und IX.

---

[1] A. Silvestri, l. c., p. 52 u. 62.

[2] Die von L. Roth v. Telegd (Umgebungen von Kismarton, p. 12) in dem von ihm für mesozoisch gehaltenen Wimpassinger Kalk wahrgenommenen »großen an *Orbitolites* gemahnenden Foraminiferen mit zweireihigen Kammern« dürften wohl solche Orthophragminen (Querschnitte) gewesen sein.

Die Abtrennung der einzelnen Arten wird durch die annähernd senkrecht zur Mediankammerlage stehenden Quer- oder Vertikalschnitte ermöglicht, die, wenn sie durch die Schalenmitte gehen (Meridionalschnitte) auch einen Einblick in den Bau der Embryonalkammern bieten.

Das Genus *Orthophragmina* ist, wie P. L. Prever zuletzt dargelegt hat [1], hauptsächlich für das Eozän charakteristisch, ohne jedoch zu dessen feinerer Gliederung benützt werden zu können, da im allgemeinen die gleichen Arten im Unter-, besonders aber im Mittel- und Ober-Eozän auftreten. Übrigens steigen sie gelegentlich auch noch ins Oligozän (namentlich ins Unter-Oligozän) empor.

Gleich den Nummuliten finden sich auch die Orthophragminen vorwiegend in detritischen und organogenen Ablagerungen der Küstengebiete und nur ausnahmsweise in bathyalen Sedimenten. [2]

Orthophragmina discus Rtm. spec. var. nov. **minima**.

(Taf. IV, Fig. 10, 11.)

cf. 1908. *Orthophragmina (Discocyclina) discus* Arn. Heim, Nummuliten- und Flyschbildungen der Schweizeralpen, p. 256, Taf. VIII, Fig. 19 bis 27.

1912. — *discus* P. L. Prever, Fauna a Nummuliti e ad Orbitoidi dell. Aniene, p. 132, Taf. I, Fig. 2 (cum synonymis).

Zu *Orthophragmina discus*, dieser verhältnismäßig dünnsten unter allen Orthophragminen-Arten rechnen wir einige (je einen) in den Schliffen Nr. 27, 28, 34 von Radstadt, Nr. 39 von Kirchberg und Nr. 36 und IV von Wimpassing sichtbare Querschnitte, die sich von den namentlich im Schweizer Eozän häufigen und mitunter einen Durchmesser bis zu 52 *mm* (oft von 9—30 *mm*) und eine Dicke bis zu 6·7 *mm* erreichenden Gehäusen durch ihre auffällige Kleinheit unterscheiden, weshalb sie als var. nov. *minima* bezeichnet werden mögen.

Ein vollständiger, im Schliffe Nr. 36 gelegener Schnitt besitzt eine Länge von 3 *mm*, und von den übrigen, kürzeren und fragmentar erhaltenen Exemplaren weist das dickste auf eine Länge (Scheibendurchmesser) von zirka 4·5 *mm* hin. Die Dicke der Gehäuse hält sich zwischen 90 μ und 250 μ.

Danach würde das Verhältnis von Dicke zur Länge etwa 1 : 12 bis 1 : 18 betragen und so in die entsprechenden Grenzen, die Arn. Heim (l. c., p. 259) für die mikrosphärische (größere und häufigere) Generation der schweizerischen *Orthophragmina discus* ermittelt hat (1 : 8 bis 1 : 35), hineinfallen, wogegen er dasselbe bei den nur bis 8 *mm* großen und selteneren makrosphärischen Schalen mit 1 : 5 bis 1 : 6 feststellen konnte.

Die Höhe (Lumenweite) der Mediankammern beläuft sich in unseren Schnitten auf zirka 25 bis 60 μ (zumeist 40 bis 50 μ) und ihre Länge gleichfalls auf etwa 25 bis 60 μ (größtenteils 30 bis 50 μ), wobei kürzere und längere Kämmerchen oft ziemlich unregelmäßig miteinander abwechseln. Diese Dimensionen entsprechen nicht schlecht denjenigen, welche wir für die typische *Orthophragmina discus* aus den Mitteilungen und Abbildungen der Literatur zu entnehmen vermögen. [3]

---

[1] Vgl. P. L. Prever, Fauna a Nummuliti e ad Orbitoidi dell'Aniene, p. 13 und Tabelle p. 21.

[2] J. Boussac kennzeichnet in seinen »Études stratigraphiques sur le Nummulitique alpin« (Mém. pour serv. à l'explic. de la Carte géol. détaill. de la France. Paris 1912, p. 649) ihr Vorkommen innerhalb des alpinen Nummuliticum mit folgenden Worten: »Les Nummulites et les Orthophragmines sont moins uniformément réparties. On les trouve surtout, et presque toujours très abondantes, dans les faciès détritiques et organogènes de la zone côtière. Elles sont dejà moins fréquentes dans les marnes bleues, et n'existent jamais dans les schistes marneux ou argileux; on les rencontre par contre en abondance dans les lentilles calcaires ou glauconieuses que contiennent ces schistes.« Auch Arn. Heim (Nummuliten- und Flyschbildungen der Schweizer Alpen, p. 164 und 284) erklärt die überwiegende Mehrzahl der Nummuliten- und Orthophragminen-Arten für neritisch und bloß *Assilina exponens* Sow. und *Orthophragmina discus* Rtm. var. *laevitenuis* Arn. Hm. bei dominierendem Zusammenvorkommen als für die Glaukonitfazies der bathyalen Tiefe (zirka 200 bis 1000 *m*) charakteristisch.

[3] Nach P. L. Prever's Figur, resp. Textangaben (l. c.) sind die Mediankammern in den innersten Zyklen zirka 35, resp. 48 bis 64 μ in den äußersten Umgängen von bereits 9 bis 12 *mm* großen Gehäusen aber 96 bis 112 μ lang.

Die die aufeinanderfolgenden Äquatorialkammern voneinander scheidenden Quersepten, welche im durchfallenden Lichte als dunkle, zirka 5 bis 6 μ breite Linien erscheinen, reichen über das Lumen der Mediankammern bis zur ersten Nebenkammerreihe hinaus und besitzen dabei eine Länge (Höhe) von zirka 65 bis 85 μ.

Die Seitenkämmerchen treten uns als kleine, ziemlich unregelmäßig umgrenzte, längliche Öffnungen innerhalb der hellen Schalenwände entgegen.

Von Pfeilern konnten wir in keinem der untersuchten Schnitte eine Spur beobachten.

Der im Kirchberger Schliffe Nr. VII befindliche und bei flüchtiger Betrachtung mit den beschriebenen Schälchen leicht zu verwechselnde Querschnitt von *Cycloclypeus* nov. spec. (vgl. p. 84 [254] weicht von jenen durch die geringeren Dimensionen seiner Dicke (66 μ) und seiner Kammern (durchschnittliche Länge 28 μ, Lumenweite 16 μ) und Quersepten (Höhe 30 μ) wie durch den gänzlichen Mangel von Nebenkammern ab.

Was nun die typische *Orthophragmina discus* anlangt, als deren Spielart wir die vorliegenden Schnitte betrachtet haben, so unterscheidet sich dieselbe von *Orthophragmina Pratti* Mich. durch ihre in der Regel flacheren Gehäuse, die, wie die Quersektionen zeigen, geringere Geräumigkeit der Seitenkammern [1], die überaus schmale Gestalt oder das gänzliche Fehlen der Pfeiler [2] und die nach Ch. Schlumberger [3] bedeutendere Größe der makrosphärischen Embryonalkammern.

Orthophragmina discus findet sich sehr häufig im Eozän der Schweizeralpen (Lutétien und Auversien [4]), woselbst Arn. Heim mehrere, hauptsächlich neritische Varietäten unterschieden hat[5], von ganz Italien (Suessonien und Lutétien des Anienegebietes etc.) und vermutlich auch von Südbayern (Lutétien von Kressenberg). Hingegen erscheint uns ihr Vorkommen in den Eozän-Schichten Südfrankreichs (Region von Bayonne), der Krim (Baktschissarai nach E. Eichwald), Indiens und Ägyptens, das man aus P. L. Prever's Synonymenliste entnehmen könnte, durchaus nicht als gesichert.

Orthophragmina Pratti Mich. spec.

(Taf. IV, Fig. 12, 13, Taf. V, Fig. 3, 6.)

1867. *Orbitoides discus* (pars) F. J. Kaufmann, Pilatus, p. 160, Taf. X, Fig. 11 bis 16.
1868. — *(Discocyclina) papyracea* (pars) C. W. Gümbel, Foraminiferenfauna der nordnalpinen Eozängebilde, p. 112, Taf. III, Fig. 4, 5, 8, 11, 12, 14, 22 bis 27.
1875. — *papyracea* M. v. Hantken, Clavulina Szabói-Schichten, p. 81, Taf. XI, Fig. 1.
? 1882. — *Fortisii* H. Abich, Geologie des armenischen Hochlandes, I, p. 235.
1883. — *papyracea* (pars) C. Schwager, Foraminiferen der libyschen Wüste und Ägyptens, p. 139.
1884. — *Fortisii* K. A. Penecke, Eozän des Krappfeldes, p. 20.
1886. — *papyracea* V. Uhlig, Mikrofauna der westgalizischen Karpathen, p. 203.

---

1 Ch. Schlumberger sagt (Troisième note sur les Orbitoides, p. 280) von *Orthophragmina discus*: »Le section transversale montre que le disque légèrement renflé au centre reste très mince; les loges latérales ont, comme dans l'O. sella, des parois épaisses et la hauteur des loges est réduite à de petites fentes, ce qui les différencie absolument de *l'O. Pratti*.«

2 Vgl. Arn. Heim, l. c., p. 256 ff. u. 261, Taf. VIII, Fig. 19 bis 27. Eine scharfe Abtrennung der zarte Pfeiler besitzenden Schalen von den völlig pfeilerlosen, auf welche P. L. Prever ausschließlich den Namen *O. discus* beschränkt wissen will, halten wir mit Arn. Heim's (l. c.) Beobachtungen kaum vereinbar, die das Bestehen von allen Übergängen zwischen beiden außer Zweifel setzen. Freilich wird es infolgedessen mitunter äußerst schwierig oder selbst unmöglich sein, relativ dickpfeilerige Exemplare der *O. discus* von verhältnismäßig dünnpfeilerigen der *O. Pratti* auseinanderzuhalten. Die engen verwandtschaftlichen Beziehungen dieser beiden Spezies hat übrigens schon F. J. Kaufmann (Pilatus, p. 162) betont.

3 Vgl. Ch. Schlumberger, l. c., p. 277 u. 280.

4 Vgl. J. Boussac, Études stratigraphiques sur le Nummulitique alpin loc. div.

5 Nur die ganz (oder fast) pfeilerlose var. *laevitenuis* Arn. Heim's ist nach dessen Beobachtungen (l. c., p. 258 bis 259, 283 bis 284) zusammen mit *Assilina exponens* Sow. für die bathyalen und hyponeritischen Glaukonitgesteine des schweizerischen Lutétiens (»untere Bürgenschichten«) charakteristisch.

1900. *Orthophragmina Pratti* P. Oppenheim, Priabonaschichten, p. 43.
1901. — — P. Oppenheim, Einige alttertiäre Faunen der österreichisch-ungarischen Monarchie p. 147.
1901. *Orbitoides papyracea* A. Martelli, Fossili di Paxos e Antipaxos, p. 417.
1902. — *(Discocyclina) papyracea* A. Martelli, Fossili dei terreni eocenici di Spalato, p. 85; var. *Fortisi*, p. 86.
1903. *Orthophragmina Pratti* (pars) Ch. Schlumberger, Troisième note sur les Orbitoides, p. 274, Textfig. *A* und *B*, Taf. VIII, Fig. 1, 3, 10, Taf. IX, Fig. 17.
1904. — — P. L. Prever und A. Rzehak, Nummuliten und Orbitoiden von österreichischen Fundorten, p. 194.
1904. — *Pratti* G. Checchia-Rispoli, Foraminiferi eocenici del M. Judica, p. 58 (cum synonymis).
1908. — *(Discocyclina) Pratti* Arn. Heim, Nummuliten- und Flyschbildungen der Schweizeralpen, p. 260.
1912. — *Pratti* P. L. Prever, Fauna a Nummuliti e ad Orbitoidi dell'Aniene, p. 122, Taf. I, Fig. 1, Taf. III, Fig. 1, 2 (cum synonymis).
non 1882. *Orbitoides papyracea* M. Terquem, Foraminifères del Eocène de Paris, p. 126, Taf. XIII Fig. 7 *a, b*.
non 1882. — — H. Abich, Geologie des armenischen Hochlandes I, p. 242, Taf. 9, Fig. 2, 2 *a, b* (wahrscheinlich = *O. parmula* Rtm., vgl., P. L. Prever, l. c., p. 128).
non 1912. *Orthophragmina Pratti* R. Schubert, Nördliche Adria, p. 19, Fig. 10 (wahrscheinlich = *O. parmula* Rtm.).

Die häufigste unter allen in unserem Schliffmateriale enthaltenen Orthophragminen-Arten ist *Orthophragmina Pratti* Mich., von der uns typische Querschnitte in den Dünnschliffen Nr. 1 bis 4, 14, 16, 17, 26, 28, 29, 34, 35 von Radstadt, Nr. 38, 39, V, VI, VII von Kirchberg und Nr. 36, III, IV von Wimpassing entgegentreten.

Ihre Länge hält sich zwischen 1 und 9·5 *mm* (meistens 3 bis 4 *mm*) und ihre Dicke zwischen 0·2 bis 1·2 *mm*. Sie besitzen die Gestalt von flachen bikonvexen, plankonvexen oder leichtkonkavkonvexen Linsen und sind mitunter auch mehrfach schwachwellig verbogen. Eine buckelförmige Zentralanschwellung ist nur sehr selten angedeutet.

Die Mediankammern, deren Länge, der vorherrschend geringen Größe der Schälchen entprechend, gewöhnlich nur 25 bis 60 μ (am häufigsten 35 bis 50 μ) beträgt und nur selten darüber hinausgeht (bis zu zirka 90 μ), nehmen von der Mitte gegen den Rand hin allmählich etwas an Höhe zu. Die für diese Dimension ermittelten Werte belaufen sich meistens auf 20 bis 65 μ, nur bei den größten Exemplaren reichen sie bis zu 80 μ.

Das ansehnlichste Gehäuse (Radstädter Schliff Nr. 3. Taf. IV, Fig. 13) weist beiderseits der Äquatorialkammern je 15 Nebenkammerreihen auf, von denen jede und die jeweils darüber folgende Wand zusammen etwa 60 bis 80 μ breit erscheinen.

Die bei durchfallendem Lichte sich hell von ihrer Umgebung abhebenden und an der Oberfläche Granulationen bildenden Pfeiler sind bei den meisten Stücken zahlreich und deutlich entwickelt.

Zu *Orthophragmina Pratti* dürften wohl auch zwei in den Radstädter Schliffen Nr. 3 (vgl. Taf. V, Fig. 6) und 5 sichtbare, mäßig gegen die Äquatorialebene geneigte Schrägschnitte gehören, welche die beiden makrosphärischen Embryonalkammern schön erkennen lassen: die innere von kugeliger Gestalt und mit einem Durchmesser von zirka 95 μ (Schliff Nr. 3), respektive 145 μ (Schliff Nr. 5) wird von der zweiten, schalenartig gekrümmten, deren maximaler Diameter 160 μ, respektive 270 μ beträgt, ungefähr zur Hälfte eingehüllt. Die genannten größeren, bei Schliff Nr. 5 beobachteten Dimensionen

entsprechen gut den von Ch. Schlumberger (l. c., p. 275 und Textfig. *A*) mitgeteilten. Die kleineren in Schliff Nr. 3 ermittelten (95 μ und 160 μ) werden wohl durch einen etwas exzentrischen Verlauf des Schnittes durch die beiden Anfangskammern bedingt sein.

Ein im Radstädter Schliff Nr. 17 beobachteter, nahe der Schalenoberfläche gelegener Tangentialschnitt (Taf. V, Fig. 3) zeigt die quer getroffenen Pfeiler als dichte, gelblichweiße Flecken, von denen die Querwände der Nebenkammern als dunkle Linien sternartig ausstrahlen. Er gleicht auffällig dem von F. J. Kaufmann (l. c., Taf. X, Fig. 14) abgebildeten oberflächlichen Gehäuseanschliff.

Das Auftreten von *Orthophragmina Pratti* in den Eozän-Gesteinen von Radstadt ist bereits von Gümbel beobachtet worden, der hier »zahlreiche Orbitoiden ähnlich *O. papyracea*« bemerkt hat [1], und von Kirchberg hat schon F. Toula auf Grund einer von F. Karrer ausgeführten Bestimmung »flache, dünne Orbitoiden, wohl *O. papyracea* Boub.,« erwähnt, worunter gleichfalls *O. Pratti* zu verstehen ist. [2]

Einige 1852 von Exzellenz Vizepräsidenten R. v. Hauer seitens des damaligen k. k. Hofmineralienkabinettes erworbene und jetzt in der fossilen Foraminiferen-Kollektion des k. k. naturhistorischen Hofmuseums aufbewahrte Exemplare der *Orthophragmina Pratti* (Acqu. Nr. 1852, I, 1067) mit der Lokalitätsangabe »Abtenau« in Salzburg scheinen uns weit mehr als die gleichzeitig damit akquirierten, grauen Stücke von *Nummulites perforatus* de Montf. [3] mit dem gleichen Fundortsvermerke bezüglich des letzteren suspekt zu sein, da sie — es sind vollkommen freigewitterte Gehäuse von 12 bis 20 *mm* Durchmesser und einer Dicke bis zu 3 *mm* — denselben braunen, limonitisch-vererzten Erhaltungszustand aufweisen, den man oft bei den Orthophragminen aus den Eisenerzflötzen von Kressenberg und zuweilen auch bei denen von Mattsee antrifft. Kann auch die Möglichkeit eines Vorkommens derartiger Fossilien im Abtenauer Gebiete nicht a priori von der Hand gewiesen werden, so hat doch aus dem obigen Grunde die Vermutung mehr für sich, daß jene Orthophragminen einmal durch Bergleute oder Petrefaktensammler von Südbayern oder Mattsee nach Abtenau gebracht worden und von hier dann in den Besitz des Geheimrates R. v. Hauer gelangt sind.

Wie groß die Verbreitung von *Orthophragmina Pratti* in den eozänen und unteroligozänen Ablagerungen ist, geht aus der folgenden Zusammenstellung ihrer bisher bekannt gewordenen Fundgebiete hervor: Eozän von Südfrankreich (Landes, Biarritz, Basses-Alpes) und der Schweizeralpen (Lutétien von Südbayern (Kressenberg), Salzburg (Mattsee)[4] und Kärnten (Guttaring), Lutétien und Priabonien von Südtirol und ganz Italien (inkl. Sizilien), Lutétien von Dalmatien, Eozän von Paxos, Ober-Eozän oder Unter-Oligozän der karpathischen Sandsteinzone (Bruderndorf in Niederösterreich [5], Wola luzańska in Westgalizien), Lutétien (Ajka, Tokod, Mogyoros etc.) und Unter-Oligozän (Clavulina Szabói-Schichten von Ofen) in Ungarn[6], Eozän der Krim, von Klein-Asien, des armenischen Hochlandes, von Indien (Scinde), Borneo und Ägypten.

Orthophragmina radstadtensis nov. spec.

(Taf. IV, Fig. 14.)

Als neue Art müssen wir zwei in den Dünnschliffen Nr. 2 und 34 von Radstadt sichtbare, leider seitlich abgebrochene Querschnitte von 1·6, respektive 0·8 *mm* Länge und 320, respektive 280 μ Breite betrachten, die durch ihre flache, abgeplattete Gestalt an *Orthophragmina Pratti* Mich. erinnern,

---

[1] W. v. Gümbel, Geologische Bemerkungen über die warmen Quellen von Gastein und ihre Umgebung, p. 383.

[2] F. Toula, Orbitoiden und Nummuliten führende Kalke vom »Goldberg«, p. 126.

[3] Vgl. vorliegende Abhandlung, p. 84 [254].

[4] Von O. M. Reis (Vorderalpenzone zwischen Bergen und Teisendorf, p. 55) und E. Fugger (Das Salzburger Vorland, p. 392) als *Orbitoides papyracea* Boub. angeführt.

[5] Von A. Rzehak (Foraminiferenfauna von Bruderndorf, p. 10) als *Orbitoides* cf. *papyracea* Boub. erwähnt.

[6] Vgl. M. v. Hantken, l. c.

sich aber durch ihre im Verhältnis zur Länge ungewöhnlich niedrigen Mediankammern wesentlich von ihr unterscheiden. Während nämlich bei der eben genannten Spezies diese beiden Dimensionen der Äquatorialkammern nicht allzusehr voneinander abzuweichen pflegen, besitzen die letzteren in den vorliegenden Schnitten bei einer Länge von 70 bis 130 μ eine etwa fünf- bis neunmal geringere, da bloß zirka 8 bis 14 μ betragende Höhe oder Lumenweite.

Ebensogroß ist auch ungefähr die Dicke der Wand, welche die Äquatorialkammerreihe gegen oben und unten begrenzt und an welche sich dann jederseits zirka 9 bis 10 Nebenkammerlagen anschließen.

An den Quersepten, welche die benachbarten Mediankammern voneinander scheiden und bis zur 1. oder 2. Nebenkammerreihe vorragen, gewahrt man dunkle flecken- oder streifenartige Verfärbungen, welche bei flüchtiger Betrachtung mit Ausfüllungen von Kammerhohlräumen verwechselt werden könnten und den Schnitten ein eigenartiges Aussehen verleihen.

Die die Schale hie und da durchsetzenden Pfeiler sind schwächer entwickelt als bei *Orthophragmina Pratti.*

Orthophragmina varians Kfm. spec.

1867. *Orbitoides varians* F. J. Kaufmann, Pilatus, p. 158, Taf. X, Fig. 1 bis 10.

1868. — *(Rhipidocyclina) nummulitica* C. W. Gümbel, Foraminiferenfauna der nordalpinen Eozängebilde, p. 124, Taf. IV, Fig. 1, 2, 3, 16, 17, 18.

1886. — *nummulitica* V. Uhlig, Mikrofauna der westgalizischen Karpathen, p. 203.

1900. *Orthophragmina nummulitica* P. Oppenheim, Priabonaschichten, p. 46.

1903. — *Marthae* (pars) Ch. Schlumberger, Troisième note sur les Orbitoides, p. 284, Taf. X, Fig. 28, 29, 32.

1904. — *nummulitica* P. L. Prever, Osservazioni sulla sottofamiglia delle Orbitoidinae, Taf. VI, Fig. 9.

1904. — — P. L. Prever und A. Rzehak, Nummuliten und Orbitoiden von österreichischen Fundorten, p. 194.

1904. — *varians* P. L. Prever und A. Rzehak, l. c., p. 199, Taf. II, Fig. 36.

1908. — *(Rhipidocyclina) varians* Arn. Heim, Nummuliten- und Flyschbildungen der Schweizeralpen, p. 266.

1912. — *varians* P. L. Prever, Fauna a Nummuliti e ad Orbitoidi dell'Aniene, p. 152, Taf. I, Fig. 7, 8, Taf. III, Fig. 11, 12 (cum synonymis).

non 1903. — — Ch. Schlumberger, l. c., p. 281, Taf. X, Fig. 31, 33, 35 (= *O. Schlumbergeri* Prev., vgl. P. L. Prever, l. c., p. 156).

non 1903. — — Ch. Schlumberger, l. c., Taf. X., Fig. 38 (= *O. strophiolata* Gümb., vgl. P. L. Prever, l. c., p. 156).

non 1903. — *Marthae* Ch. Schlumberger, l. c., Taf. X, Fig. 27, Taf. XI, Fig. 39, 40 (= *O. dispansa* Sow., vgl. P. L. Prever, l. c., p. 153 und 158).

non 1903. — *nummulitica* Ch. Schlumberger, l. c., p. 280, Taf. X, Fig. 34, Taf. XI, Fig. 41 (= *O. Isseli* Prev., vgl. P. L. Prever, l. c., p. 146 und 153).

non 1905. — cf. *varians* J. Deprat, Dépots éocènes Néo-Calédoniens, p. 505, Taf. XVIII, Fig. 20 bis 22 (= ? *O. Schlumbergeri* Prev.).

Auf diese von P. L. Prever eingehend behandelte Art möchten wir einige in den Radstädter Schliffen Nr. 2, 17, 26 und 28 sichtbare Querschnitte von 1 bis 1·6 *mm* Länge und zirka 0·4 bis 0·8 *mm* Dicke beziehen, welche sich durch die Ausbildung ihrer Pfeiler und die Dimensionen der

Äquatorialkammern kaum von den zu *Orthophragmina dispansa* Sow. gehörigen unterscheiden. Hingegen bieten sie nicht wie letztere einen in der Mitte aufgeschwollenen und durch Vermittlung einer konkaven Einbiegung gegen den Rand saumartig verdünnten, sondern vielmehr einen ungefähr breiter- oder flacherelliptischen Umriß dar, indem ihre Dicke gegen den stumpf bleibenden Rand fast allmählich abnimmt.

Das Verbreitungsgebiet von *Orthophragmina varians* umfaßt das Alttertiär von Südfrankreich (Eozän der Landes und Basses-Pyrenées), der Schweizeralpen, von Südbayern (Lutétien von Kressenberg, Priabonien von Reichenhall), von Kärnten (Lutétien von Guttaring), von ganz Italien (besonders Lutétien und Priabonien) und der karpathischen Sandsteinzone (Yprésien bis Lutétien von Bohuslawitz a. d. Wlara in Mähren[1], Lutétien von Silimau bei Ungarisch-Hradisch[2], Ober-Eozän oder Unter-Oligozän von Wola luzańska, Szalowa, Rajbrot und ? Cieklin in Galizien).

Orthophragmina dispansa Sow. spec.

(Taf. V, Fig. 4.)

1868. *Orbitoides* (*Discocyclina*) *dispansa* (pars) C. W. Gümbel, Foraminiferenfauna der nordalpinen Eozängebilde, p. 123, Taf. III, Fig. 42 bis 47.

1875. — *dispansa* M. v. Hantken, Clavulina Szabói-Schichten, p. 82, Taf. XI, Fig. 3.

1882. — — var. nov. H. Abich, Geologie des armenischen Hochlandes, I, p. 229, Taf. 2, Fig. 9, Taf. 10, Fig. 1, 1*a*, 2, 3, 4, 8, Taf. 11, Fig. 1, 2, 3.

1886. — — V. Uhlig, Mikrofauna der westgalizischen Karpathen, p. 203.

1896. — — R. D. M. Verbeek et R. Fennema, Java et Madoura, p. 1173, Taf. IX, Fig. 148, 149, Taf. X, Fig. 158 bis 160.

1900. *Orthophragmina dispansa* P. Oppenheim, Priabonaschichten, p. 45.

1901. *Orbitoides dispansa* A. Martelli, Fossili di Paxos e Antipaxos, p. 418.

? 1901. — *nummulitica* A. Martelli, l. c., p. 417, Taf. VII, Fig. 7.

1902. — (*Discocyclina*) *dispansa* F. Chapman, Alveolina Limestone from Egypt., p. 112.

1902. — (*Lepidocyclina*) *dispansa* A. Martelli, Fossili dei terreni eocenici di Spalato, p. 83, Taf. VII, Fig. 7, 8.

1903. *Orthophragmina* (cf.) *dispansa* L. Rutten, Foraminiferen-führende Gesteine von Neu-Guinea, p. 35 und 48, Taf. VIII, Fig. 1 und 2.

1903. — *Marthae* (pars) Ch. Schlumberger, Troisième note sur les Orbitoides, p. 284, Taf. X, Fig. 27, Taf. XI, Fig. 39, 40.

1903. — n. sp. Ch. Schlumberger, l. c., p. 282, Taf. XII, Fig. 46 (vgl. P. L. Prever, Fauna a Nummuliti e ad Orbitoidi dell' Aniene, p. 153 und 158).

1904. — *dispansa* G. Checchia-Rispoli, Foraminiferi eocenici del M. Judica, p. 56, Taf. II, Fig. 9 und 23.

1904. — — P. L. Prever und A. Rzehak, Nummuliten und Orbitoiden von österreichischen Fundorten, p. 195.

1905. — cf. *dispansa* J. Deprat, Dépots éocènes Néo-Calédoniens, p. 505, Taf. XVII, Fig. 19.

? 1905. — *nummulitica*? J. Deprat, l. c., p. 506, Taf. XVIII, Fig. 23.

1908. — (*Discocyclina*) *dispansa* Arn. Heim, Nummuliten- und Flyschbildungen der Schweizeralpen, p. 264.

---

[1] Vgl. P. L. Prever und A. Rzehak, l. c., p. 199.

[2] Vgl. R. J. Schubert, Über mitteleozäne Nummuliten aus dem mährischen und niederösterreichischen Flysch, p. 124.

? 1908. *Orthophragmina* (*Discocyclina*) *Marthae* Arn. Heim., l. c., p. 266.

1912. — *dispansa* P. L. Prever, Fauna a Nummuliti e ad Orbitoidi dell' Aniene, p. 157, Taf. II, Fig. 2, 3, Taf. III, Fig. 13 (cum synonymis).

non 1868. *Orbitoides* (*Discocyclina*) *dispansa* (pars) C. W. Gümbel, l. c., p. 123, Taf. III, Fig. 40, 41 (=*Orthophragmina Isseli* Prev., vgl. P. L. Prever, l. c., p. 146).

non 1903. *Orthophragmina Marthae* Ch. Schlumberger, l. c., p. 284, Taf. X, Fig. 28, 29, 32 (=*Orthophragmina varians* Kfm., vgl. P. L. Prever, l. c., p. 152).

Zahlreiche typische Querschnitte der *Orthophragmina dispansa* von 1 bis 3·2 *mm* Länge und zirka 0·4 bis 1·5 *mm* Dicke beherbergen die Dünnschliffe Nr. 1, 2, 4, 16, 17, 26, 28, 34, 35 von Radstadt und Nr. 38, 39, V, IX von Kirchberg.

Die stark buckelförmig aufgetriebene Mittelregion geht durch Vermittlung eines flach-konkav eingebogenen Flankenteiles in die dünn auslaufende Randpartie über.

Die Äquatorialkammern, welche, der geringen Größe der vorliegenden Gehäuse entsprechend, eine Länge von nur 25 bis 65 μ (meistens von 30 bis 50 μ) besitzen, nehmen vom Zentrum gegen den Rand allmählich an Höhe zu (zirka 20 bis 50 μ).

Die im Bereiche des Zentralbuckels deutlich entwickelten Pfeiler lassen bei stärkerer Vergrößerung eine radial-fibröse Struktur erkennen.

Einen besonders breiten und als grobe Protuberanz über die Schalenoberfläche aufragenden derartigen Mittelpfeiler sehen wir in unserer Abbildung (Meridianschnitt), welche auch schön die makrosphärischen Anfangskammern zeigt: Die innere kugelförmige, deren Höhe 215 μ mißt, wird von einer äußeren von 350 μ Längsdurchmesser umfaßt, die im Durchschnitte in Gestalt zweier die erstere beiderseits flankierender, etwas unregelmäßiger Bogen von zirka 130 μ Höhe erscheint. Es gibt dies ein Bild, welches auch bezüglich seiner Größe gut der von Ch. Schlumberger (l. c., Taf. XI, Fig. 40) gelieferten Darstellung der makrosphärischen Embryonalkammern entspricht. Die von P. L. Prever hiefür bei der Beschreibung der *Orthophragmina dispansa* angegebenen Maßwerte (240, bzgl. 400 μ) übertreffen die obigen, von uns ermittelten ein wenig.

In dem von F. Toula seinerzeit bei Kirchberg aufgesammelten Eozänmaterial hat bereits F. Karrer die bauchigen Schälchen der *Orthophragmina dispansa* nachzuweisen vermocht.[1]

Die Verbreitung dieser Spezies im paläogenen Mediterrangebiete ist eine außerordentlich weite. Wir kennen sie aus dem Alttertiär von Südfrankreich (Eozän der Landes und Basses-Pyrenées), der Schweizeralpen und von Südbayern (Eozän), von Kärnten (Lutétien von Guttaring, hier selten), ganz Italien (besonders Lutétien und Priabonien, aber auch noch Oligozän), Dalmatien und Paxos (Lutétien) der karpathischen Flyschzone (Ober-Eozän oder Unter-Oligozän von Bruderndorf in Niederösterreich[2] und von Wola luzańska in Galizien, hier sehr selten), von Ungarn (Lutétien von Mogyóros und Padrag, Unter-Oligozän von Ofen), des armenischen Hochlandes (Eozän), von Indien (Eozän von Scinde), Java und Borneo (Eozän, zum Teil auch Oligozän), Neu-Guinea (Eozän), Neu-Kaledonien (Eozän), Arabien (Eozän) und Ägypten (Lutétien).

Orthophragmina Douvillei Schlumb.

(Taf. V, Fig. 6.)

1903. *Orthophragmina Douvillei* Ch. Schlumberger, Troisième note sur les Orbitoides, p. 283, Taf. IX, Fig. 21 bis 24.

? 1912. — — P. L. Prever, Fauna a Nummuliti e ad Orbitoidi dell'Aniene, p. 26, 29, 258 (Nr. 78) Nr. 78 (weiß) in Taf. XI, Fig. 5, 9, 10.

---

[1] F. Toula, Orbitoiden und Nummuliten führende Kalke vom »Goldberg«, p. 126.

[2] Vgl. A. Rzehak, Foraminiferenfauna von Bruderndorf, p. 10 u. 11.

Dieser durch eine ungewöhnliche Dicke ausgezeichneten Spezies entspricht ein in unserem Radstädter Schliffe Nr. 3 gelegener Querschnitt bestens durch seine Gestalt, seine Dimensionen (Länge 1·4 *mm*, Dicke 0·8 *mm*) und die starke Entwicklung eines zentralen, knopfartig über die Oberfläche aufragenden Kegelpfeilers, an den sich seitwärts noch einige schwächere anschließen.

Die von der Schalenmitte gegen die Seiten hin an Lumenweite zunehmenden Median(Äquatorial)-kammern weisen dort eine Höhe von 16 μ und eine Länge von 24 μ auf. Ober- und unterhalb der Mediankammern zählt man in der Mittelpartie des Gehäuses je zirka 12 Nebenkammerreihen.

An diesen Schnitt möchten wir ferner zwei in den Dünnschliffen Nr. 17 und 34 von Radstadt beobachtete Transversalschnitte von zirka 1·1 *mm* Länge und 0·74, bezüglich 0·6 *mm* Breite (Dicke) anschließen, die aber, abweichend von dem vorigen, statt eines jederseits zwei besonders kräftige Kegelpfeiler in der mittleren, am stärksten aufgewölbten Schalenregion zeigen.

Orthophragmina Douvillei ist von Ch. Schlumberger im Eozän des südlichen Frankreichs (Landes, Basses-Pyrenées, Alpes-Maritimes) festgestellt worden. P. L. Prever hat sie aus dem Unter-Lutétien des Anienegebietes (Percile, Roccagiovane) östlich von Rom erwähnt.

Orthophragmina Taramellii Mun.-Chalm.

(Taf. V, Fig. 7.)

1868. *Orbitoides (Asterocyclina) stellata* (pars) C. W. Gümbel, Foraminiferenfauna der nordalpinen Eozängebilde, p. 135, Taf. II, Fig. 115 *c*.

1904. *Orthophragmina Taramellii* Ch. Schlumberger, Quatrième note sur les Orbitoides, p. 131, Taf. VI, Fig. 41 bis 46, 51, 57.

1912. — — P. L. Prever, Fauna a Nummuliti e ad Orbitoidi dell' Aniene, p. 179, Taf. II, Fig. 10, Taf. III, Fig. 14.

In den Schliffen Nr. 1, 2, 16, 17, 34, 35 von Radstadt und Nr. VI von Kirchberg treten uns einige Schnitte entgegen, die beiderseits von der dünneren Mittelpartie eine Anschwellung erkennen lassen und demnach exzentrische Transversalsektionen durch sternartige Orthophragminen-Schalen darstellen. Die beiden verdickten Stellen entsprechen zweien der vom Gehäusezentrum ausstrahlenden Radialrippen.

Für die Zugehörigkeit unserer Schnitte zu *Orthophragmina Taramellii* sprechen wohl ihre recht bescheidenen Dimensionen (Länge von 0·9 bis 2·3 *mm*, maximale Dicke von 170 bis 520 μ) und das vollständige Fehlen von sekundären, die Mediankammern unterteilenden Horizontalböden, Eigenschaften, die als Unterscheidungsmerkmale dieser Spezies von der habituell ähnlichen *O. priabonensis* Gümb. und *O. lanceolata* Schlumb. gelten.[1]

Innerhalb der angeschwollenen Schalenteile (Radialcosten) weisen die Mediankammern, deren Länge sich zwischen 15 und 40 μ hält, eine dunklere Färbung und eine größere Höhe oder Lumenweite (zirka 18 bis 24 μ) auf als in den Intercostalpartien (hier zirka 10 bis 18 μ).

Die Zahl der in unseren Schnitten ober- und unterhalb der Mediankammern beobachteten Seitenkammerreihen beträgt, je nach der Entfernung der einzelnen Durchschnitte von der Mitte der Schalen und deren Größe 3 bis 10.

Orthophragmina Taramellii ist bisher aus dem Eozän von Südfrankreich (Biarritz), Südbayern (Schönegg bei Kressenberg) und von Ober- (veronesisch-vizentinisches Gebiet etc.), Mittel- und Unteritalien bekannt geworden.

[1] Vgl. P. L. Prever, l. c., p. 181.

Anthozoa.

(Taf. I, Fig. 6.)

Das Vorhandensein von Hexakorallen-Stöcken im Eozän von Radstadt läßt sich aus vereinzelten teils an der Verwitterungsoberfläche von Geröllen, teils im Dünnschliff Nr. 13 sichtbaren Spuren erkennen. Die letzteren, welche 2·4 *mm* große Kelchsternchen mit 12 groben und teilweise im Kelchzentrum verbundenen Septen zeigen, dürften der Gattung *Actinacis* oder *Astraeopora* angehören, ohne aber infolge ihrer dürftigen Erhaltung eine genauere Bestimmung zuzulassen.

Während die im Eozän von Kressenberg und Mattsee bekannt gewordenen Anthozoën hauptsächlich Einzelkorallen (*Ceratotrochus, Trochocyathus*) sind, hat F. Toula im Eozän des Goldberges bei Kirchberg a. W. außer solchen (*Flabellum, Trochocyathus*) auch mehrere stockbildende Geschlechter (*Trochoseris, Rhabdophyllia ?, Stylocoenia ?, Thamnastraea, Porites*) nachgewiesen, denen nach unseren Beobachtungen (Goldberg, Schliff Nr. VIII und IX) noch das Genus *Actinacis* beizufügen wäre.

Der Goldberger Schliff Nr. VIII zeigt ein paar, in einem grobsträhnigen Cönenchym gelegene, 1·4 bis 2·1 *mm* große, von einer dicken Pseudotheca umgebene Kelchröhrchen, deren 6 gegen die Kelchmitte reichende Primärsepten durch Verschmelzung mit den Pfählchen knopfartig verdickt erscheinen. Die 6 Sekundärsepten sind nur etwa halb so lang als die primären, die 12 des 3. Zyklus bleiben ganz kurz. Durch ihren Gesamthabitus und besonders durch die Ausbildung des Cönenchyms erinnert diese Spezies an die von P. Oppenheim [1] aus dem Friauler Eozän beschriebene *Actinacis perelegans* Opph., welche indessen bloß zirka 1 *mm* weite Kelche mit 2 Septenzyklen aufweist.

Bei einem von den Schliffen Nr. I und II des Wimpassinger Eozäns getroffenen Korallenstock zweifle ich nicht an seiner Zugehörigkeit zur Gattung *Astraeopora*, welche im Alttertiär in reicher Blüte stand und an dem Aufbaue der Riffe des damaligen Mediterrangebietes hervorragenden Anteil nahm. [2] Seine in ziemlich geringer Entfernung voneinander abstehenden Kelchsternchen (Zentraldistanz 1·8 bis 2·2 *mm*), welche einen Durchmesser von 1·8 bis 2·2 *mm* zeigen, besitzen 6 zarte, fast bis zur Mitte reichende Primär-, 6 etwas kürzere Sekundär- und schließlich 12 Tertiärsepten von ganz geringer Länge und sind in ein lockeres Cönenchym eingebettet. Hie und da sind benachbarte Septen durch Synaptikel miteinander verbunden. Säulchen und Pfählchen fehlen.

L. v. Roth [3] hat in dem von ihm für mesozoisch gehaltenen Wimpassinger Kalk eine *Astrocoenia* sp. beobachtet.

Aus dem Eozän von Guttaring führt K. A. Penecke die Korallengenera *Astraea, Maeandrina* und *Trochosmilia* an.

Echinodermata.

(Taf. III, Fig. 17, Taf. V, Fig. 8.)

Die meisten der von mir untersuchten Dünnschliffe der Radstädter Eozängesteine zeigen teils vereinzelte, teils häufige Echinodermen-Fragmente, die an ihrer typischen Gitterstruktur als solche leicht zu erkennen sind.

Vorwiegend handelt es sich um Zerreibsel von Echiniden-Täfelchen und -Stacheln [4], welche aber nach den vorliegenden Schnitten keine nähere Bestimmung erlauben. Einzelne Reste dürften auch von Crinoiden stammen.

---

[1] P. Oppenheim, Alttertiäre Faunen der österreichisch-ungarischen Monarchie. Beitr. z. Pal. u. Geol. Öst.-Ung. u. d. Or. Bd. XIII, p. 181, Taf. XII, Fig. 14 bis 14 *a*.

[2] P. Oppenheim, l. c., p. 200.

[3] L. Roth v. Telegd, Umgebungen von Kismarton, p. 12.

[4] Vgl. E. Hesse, Die Mikrostruktur der fossilen Echinoidenstacheln. N. Jahrb. f. Min. etc., XIII. Beilagebd., p. 185.

Die Länge aller dieser Fragmente schwankt von kleinen Bruchteilen eines Millimeters bis zu mehr als 1 *cm*.

Echinodermen spielen im Eozän von Kressenberg, Mattsee und Guttaring eine ansehnliche Rolle, und auch in dem des Goldberges bei Kirchberg a. W. und von Wimpassing am Leithagebirge finden sich ihre Reste nicht selten vor.

Vermes.

Serpula spec.

(Taf. V, Fig. 10.)

Als *Serpula* deuten wir einen etwas unregelmäßig kreisförmigen Röhrenquerschnitt im Radstädter Schliffe Nr. 14, dessen Durchmesser über 1·6 *mm* und dessen Lumenweite zirka 1·1 *mm* beträgt.

Die Schale, welche in durchfallendem Lichte innen heller und gegen außen dunkler erscheint, zeigt eine konzentrische Lagenstruktur, wodurch sie sich von den als Dentalien erkannten Röhrenschnitten deutlich unterscheidet.

Eine 8 *mm* lange und 1 *mm* breite *Serpula*-Schale ist auf der Oberfläche des zu Schliff Nr. 27 gehörigen Gerölles sichtbar.

Serpeln finden sich auch gelegentlich im Eozän von Kressenberg, Mattsee, Guttaring und des Goldberges bei Kirchberg.

Bryozoa.

(Taf. II, Fig. 4, Taf. V, Fig. 11.)

In vielen Radstädter Schliffen erscheinen, namentlich als Begleiter von Lithothamnien und Orthophragminen verschiedenartige, bis zirka $^1/_2$ *mm* große Bryozoënfragmente [1], welche teils der Unterordnung der *Cyclostomata*, teils jener der *Cheilostomata* angehören.

Von einer näheren Bestimmung ist angesichts des unzulänglichen Bildes, welches Schnitte allein von der Beschaffenheit der Stöcke zu geben vermögen, abgesehen worden, zumal ja nach den Untersuchungen von F. A. v. Reuss den alttertiären Moostierchen für genauere stratigraphische Feststellungen kaum eine besondere Bedeutung zukommt.

Zahlreiche ähnliche Bryozoën-Schnitte wurden ferner in den Dünnschliffen des Kirchberger (vgl. Taf. V, Fig. 11) und Wimpassinger [2] Eozäns festgestellt.

Bekanntlich nehmen Bryozoën auch an der Zusammensetzung des sogenannten »Granitmarmors« des südbayrischen Eozäns einen hervorragenden Anteil. [3]

Brachiopoda.

In unserem gesamten Radstädter Schliffmaterial fand sich nur ein einziger Durchschnitt (Schliff Nr. 19), welcher als Brachiopodenrest gedeutet werden kann.

Er besitzt herzförmige Gestalt bei einer Höhe von 3 *mm* und einer Breite von 2·3 *mm* und könnte etwa von einer glatten Terebratulide stammen.

---

[1] Dünnschliffbilder von Bryozoen sind bisher ziemlich selten in der Literatur reproduziert worden. Eine größere Anzahl derselben enthält das für das mikroskopische Studium von Schichtgesteinen wichtige Werk von M. Hovelacque et M. W. Kilian,, Album de microphotographies des roches sedimentaires. Paris 1910.

[2] Vgl. L. Roth v. Telegd, Umgebungen von Kismarton, p. 12.

[3] Vgl. K. E. Schafhäutl, Südbayerns Lethaea geognostica. Der Kressenberg, p. 35.

Im Eozän von Kressenberg und Mattsee erscheinen Brachiopoden, respektive Terebratuliden durch einige Formen vertreten und auch in jenem von Kirchberg, Wimpassing [1] und Guttaring ist ihr Vorkommen durch vereinzelte Funde festgestellt worden.

Lamellibranchiata.

Auf der angewitterten Oberfläche mehrerer mir vorliegender Gerölle sowie in einigen Dünnschliffen des Radstädter Eozäns erscheinen teils glatte, teils berippte Bruchstücke von Muschelschalen, welche den auch im Eozän von Kressenberg, Mattsee, Guttaring, Kirchberg und Wimpassing [2] vorkommenden Gattungen *Ostrea* und *Pecten* angehören dürften.

Scaphopoda.

Dentalium cf. nitidum Desh.

(Taf. V., Fig. 12.)

cf. 1864. *Dentalium nitidum* P. Deshayes, Description des animaux sans vertèbres decouverts dans le bassin de Paris. Tome II, p. 203, Taf. I, Fig. 29 bis 30.

1884. — — K. A. Penecke, Eocän des Krappfeldes, p. 33.

An diese von P. Deshayes aus den Sables inférieurs (Unter-Eozän) des Pariser Beckens beschriebene Art schließen sich kleine, glatte Röhrchen von schlank-zylindrischer und etwas gekrümmter Gestalt an, die an der angewitterten Oberfläche mehrerer unserer Radstädter Eozän-Gerölle zutage treten, und deren Schnitte auch in vielen unserer Dünnschliffe (Nr. 9 bis 11, 15, 21, 24, 27, 31 bis 33) sichtbar sind.

Die Länge des größten, durch die Verwitterung fast zur Gänze freigelegten Röhrchens beträgt 11 *mm*, sein Durchmesser über 1 *mm*, Maßzahlen, welche den von Deshayes für die genannte Art angegebenen (zirka 13, respektive 1 *mm*) recht gut entsprechen.

Die in den Dünnschliffen beobachteten Schnitte zeigen, daß ihre in durchfallendem Lichte gelblichweiß, in auffallendem hingegen dunkler erscheinende Schalensubstanz aus sehr feinen Fasern besteht, die gegen die Röhrenoberfläche ungefähr senkrecht stehen. An die Innenseite dieser Schale schließt sich nun, wie bei allen untersuchten Schnitten festgestellt werden konnte, eine viel dünnere Schichte an, welche in durchfallendem Lichte dunkel, in auffallendem aber blendendweiß erscheint und keine feinere Struktur erkennen läßt. In Querschnitten hebt sich diese Lage, die ich für eine infiltrierte Kruste halten möchte, infolge des Färbungskontrastes scharf als schmaler innerer Ring von dem mit ihm konzentrischen breiteren äußeren der radialfasrig gebauten Schale ab.

Eine derartige die Lumenweite der Röhrchen einengende Innenschichte habe ich übrigens auch an verschiedenen, von anderen Tertiärfundorten stammenden *Dentalium*-Schälchen der paläontologischen Sammlung des k. k. naturhistorischen Hofmuseums wahrnehmen können.

Da sich die Röhrchen unserer Art gegen ihr rückwärtiges Ende hin allmählich verengen und zarter werden, ist es erklärlich, daß die Dimensionen der untersuchten Schnitte gewissen Schwankungen unterworfen sind.

So wurde an den Dünnschliffen für den Durchmesser der Röhrchen ein Betrag von 1450 bis 300 μ und für die Dicke der radialfasrigen Schale ein solcher von 180 bis 33 μ ermittelt. Die Dicke der erwähnten Innenschichte beträgt 90 bis 25 μ und die Weite des von letzterer umschlossenen Röhrenlumens 600 bis 180 μ.

---

[1] Vgl. L. Roth v. Telegd, Umgebungen von Kismarton, p. 12.

[2] L. Roth v. Telegd (Umgebungen von Kismarton, p. 12) fand eine stark abgewetzte *Ostrea* sp. in dem von ihm für mesozoisch gehaltenen Kalkstein von Wimpassing.

Identische Röhrchen wurden auch im Goldberger (Schliff Nr. V) und Wimpassinger Eozän (Schliff Nr. 37) festgestellt.

K. A. Penecke beschreibt das Vorkommen von *Dentalium nitidum* Desh. im Eozän von Guttaring in Kärnten, und vielleicht gehören auch die von Cl. Lebling [1] im Ober-Eozän nahe dem Passe Hallthurm bei Berchtesgaden aufgefundenen kleinen Dentalienröhrchen der gleichen Spezies an.

Von *Dentalium eburneum* Lin. [2], einer glattschaligen Form des Pariser Grobkalkes (Lutétien), die nach E. Fugger [3] auch im Eozän von Mattsee auftreten dürfte, unterscheidet sich unsere Art namentlich durch ihre viel geringere Größe.

Was die Lebensweise der heutigen Dentalien anlangt, so lieben sie besonders sandige, mit Steinen durchmischte Strandböden, in denen sie im Niveau der niedersten Ebbe oder etwas tiefer aufrecht zu stecken pflegen. Während sie in den kalten Meeren nur äußerst spärlich vertreten sind, erlangen sie in der Richtung gegen den Äquator hin, eine immer reichere Entwicklung. [4]

Gastropoda.

Verschiedene bis 2 *cm* breite Gastropoden-Schalen sind auf der Anwitterungsoberfläche einiger unserer Gerölle und als Durchschnitte in mehreren Dünnschliffen sichtbar.

Bis auf ein einziges ausgewittertes und zirka 4 *mm* breites Exemplar, das einer *Natica* angehören dürfte, lassen sie aber leider nicht einmal eine generische Bestimmung zu.

Die Gattung *Natica* findet sich auch unter den Schneckenformen des Eozäns von Kressenberg, Mattsee und Guttaring vertreten, wogegen sie am Goldberg bisher noch nicht festgestellt worden ist.

---

1 Cl. Lebling, Geologische Beschreibung des Lattengebirges im Berchtesgadener Land. Geognost. Jahreshefte, 24. Jahrg. (1912), p. 65.

2 Vgl. G. P. Deshayes, l. c., p. 215, Taf. II, Fig. 11 bis 13.

3 E. Fugger, Das Salzburger Vorland. Jahrb. d. k. k. geol. Reichs-A., Bd. XLIX, p. 392.

4 Vgl. G. P. Deshayes, l. c., p. 197, und Derselbe, Anatomie et monographie du genre Dentale. Mém. de la Soc. d'hist. nat. de Paris, tome II (1825), p. 344.

Verzeichnis der benützten Foraminiferen-Literatur.

Abich H., Geologie des armenischen Hochlandes, I. Westhälfte. Geolog. Forsch. in den kaukasischen Ländern. II. T., Wien 1882.

Altpeter O., Beiträge zur Anatomie und Physiologie von *Alveolina*. Neues Jahrb. f. Min. etc. XXXVI. Beilagebd., p. 82, Stuttgart 1913.

Andreae A., Ein Beitrag zur Kenntnis des Elsässer Tertiärs. Abh. z. geol. Spezialkarte v. Elsaß-Lothringen, Bd. II (Text und Atlas), Straßburg i. E. 1884.

D'Archiac E. et J. Haime, Description des animaux fossiles du groupe nummulitique de l'Inde précédée d'un résumé géologique et d'une monographie des Nummulites. Paris 1853.

Bagg R. M., Pliocene and pleistocene foraminifera from southern California. Dep. of the Int., U. S. geol. surv., Bull. Nr. 513. Washington 1912.

Bornemann J. G., Die mikroskopische Fauna des Septarienthones von Hermsdorf bei Berlin. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Ges., Bd. VII. Verhandl., p. 307. Berlin 1855.

Boussac J., Sur le terrain nummulitique a Biarritz et dans le Vicentin. Bull. de la Soc. géol. de France, IV. sér., tom. VI, p. 555. Paris 1906.

— Études paléontologiques sur le nummulitique alpin. Mém. pour. serv. à l'explic. da la carte géol. détaill. de la France (Text und Atlas.). Paris 1911.

Brady H. B., Report on the Foraminifera dredged by H. M. S. Challenger during the years 1873—1876. The Voyage of H. M. S. Challenger, Zoology, Vol. IX (Text u. Atlas). London 1882—84.

— W. K. Parker and T. R. Jones, On some Foraminifera from the Abrohlos Bank. Transact. of the zool. Soc. of London, Vol. XII, p. 211. London 1888.

Carpenter W. B., W. K. Parker und T. R. Jones, Introduction to the study of the Foraminifera. Ray. Soc. London 1862.

Carter H. J., On the Polytremata (Foraminifera), especially with reference to their mythical hybrid nature. Ann. and Mag. of nat. hist. for March 1876, p. 185. London 1876.

Chapman F., On a Patellina-Limestone and another foraminiferal Limestone from Egypt. Geol. Mag., Dec. IV, Vol. VII, p. 3. London 1900.

— On some new and interesting Foraminifera from the Funafuti Atoll, Ellice Islands. The Journ. of the Linn. Soc. Zool., Vol. XXVIII (1900—1903), p. 1—27. London 1900.

— Foraminifera from the Lagoon at Funafuti, l. c., p. 161—210. London 1901.

— On the Foraminifera collected round the Funafuti Atoll from shallow and moderately deep water, l. c., p. 379—417. London 1902.

— The Foraminifera, an introduction to the study of the Protozoa. Longmans, Green and Co. London 1902.

— On an Alveolina-Limestone and Nummulitic Limestones from Egypt. The geol. Mag., Dec. IV, Vol. IX (1902), p. 106. London 1902.

— Notes on the older tertiary foraminiferal rocks on the west Coast of Santo, New Hebrides. The proc. of the Linn. Soc. of New South Wales for the year 1905, Vol. XXX, p. 261, Sydney 1905—1906.

— A study of the Batesford Limestone. Proc. of the Roy. Soc. of Victoria. Vol. XXII (New. ser.), p. 263. Melbourne 1909.

Checchia-Rispoli G., I Foraminiferi eocenici del Gruppo del M. Judica e dei dintorni di Catenanuova in Provincia di Catania. Boll. della Soc. geol. Ital., Vol. XXIII, p. 25. Roma 1904.

— Sopra alcune Alveoline eoceniche della Sicilia. Palaeontogr. Ital., Vol. XI, p. 147. Pisa 1905.

— Nuova contribuzione alla conoscenza delle Alveoline eoceniche della Sicilia. Palaeontogr. Ital., Vol. XV, p. 59. Pisa 1909.

— I foraminiferi dell'Eocene dei dintorni di S. Marco la Catola in Capitanata. Palaeontogr. Ital., Vol. XIX, p. 103. Pisa 1913.

Deprat J., Les dépots éocènes Néo-Calédoniens. Bull. de la Soc. géol. de France, IV. sér., tom. V p. 485. Paris 1905.

Douvillé H., Essai d'une Revision des Orbitolites. Bull. de la Soc. géol. de France, IV. sér., tom. II p. 289. Paris 1902.

— Distribution des Orbitolites et des Orbitoides dans la craie du Sud-ouest l. c., p. 307. Paris 1902.

— Les foraminifères dans le Tertiaire de Bornéo. Bull. de la Soc. géol. de France., IV. sér., tom. V, p. 435. Paris 1905.

Egger J. G., Foraminiferen aus Meeresgrundproben, gelothet von 1874 bis 1876 von S. M. Sch. Gazelle. Abh. d. k. bayer. Akad. d. Wiss., II. Kl., XVIII. Bd., II. Abth., München 1893.

— Fossile Foraminiferen von Monte Bartolomeo am Gardasee. XVI. Ber. d. naturh. Ver. zu Passau f. d. Jahre 1890 bis 1895. Passau 1895.

Ehrenberg Ch. G., Mikrogeologie. Leipzig 1854.

Flint J. M., A descriptive Catalogue of specimens dredged by the U. S. fish Commission steamer Albatross. Ann. Report of the board of Regents of the Smithsonian Institution for the year 1897. Report of the U. S. nat. Mus. part I, Washington 1899.

Franzenau A., Beitrag zur Foraminiferen-Fauna der Rákoser (Budapest) Ober-Mediterran-Stufe. Földtani Közlöny. Budapest 1881.

— Heterolepa, eine neue Gattung aus der Ordnung der Foraminiferen. Természetrajzi füzetek a museo nationali hungarico budapestinensi vulgato. Vol., VIII, pars 3, p. 214, Budapest 1884.

— Beitrag zur Kenntnis der Schalenstruktur einiger Foraminiferen. Természetrajzi füzetek etc. Vol. IX, pars 2, p. 151, Budapest 1885.

Goes A., A. Synopsis of the Arctic and Scandinavian recent marine Foraminifera hitherto discovered. Kongl. svenska Vetenskaps handlingar. Bd. 25, Nr. 9. Stockholm 1894.

Gümbel C. W., Beiträge zur Foraminiferenfauna der nordalpinen Eozängebilde. Abh. d. k. bayer. Akad. d. Wiss., II. Cl., X. Bd., II. Abt., p. (581). München 1868.

Hantken M., v., Die Fauna der Clavulina Szabói-Schichten. I. Teil, Foraminiferen. Mitt. aus d. Jahrb. d. kön. ung. geol. Anst., IV. Bd., I. Heft Budapest 1875.

Harpe Ph., de la, Note sur les Nummulites des environs de Nice et de Menton. Bull. de la Soc. géol. de France, III. sér., tom. V, p. 817, Paris 1877.

— Étude sur les Nummulites du Comté de Nice suivie d'une Échelle des Nummulites. Bull. de la Soc. vaud. des Sc. nat., Vol. XVI, No. 82, p. 201. Lausanne 1879.

— Description des Nummulites appartenant a la Zone supérieure des Falaises de Biarritz. Bull. de la Soc. de Borda à Dax. IV_e année 1879, p. 1 bis 20. Dax. 1879.

— Etude des Nummulites de la Suisse et revision des espèces éocénes des genres Nummulites et Assilina. Mém. de la Soc. paléont. Suisse., Vol. VII, VIII, X, Genève 1881 bis 1884.

Heim Arn., Die Nummuliten- und Flyschbildungen der Schweizeralpen. Abh. d. schweiz. pal. Ges., Vol. XXXV, Zürich 1908.

Jaeger R., Grundzüge einer stratigraphischen Gliederung der Flyschbildungen des Wienerwaldes. Mitt. d. geol. Ges. in Wien, Bd. VII, p. 122. Wien 1914.

Jones T. R., W. K. Parker and H. B. Brady, A Monograph of the Foraminifera of the Crag. Part I—IV. Palaeontograph. Soc. London 1866—1897.

Karrer F., Die miocene Foraminiferen-Fauna von Kostej im Banat. Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wiss., math.-nat. Kl., Bd. 58, I. Abt. Wien 1868.

Kaufmann F. J., Der Pilatus, geologisch untersucht und beschrieben. Beitr. z. geol. Karte d. Schweiz. V. Lfrg. Bern 1867.

Krumpholz F., Miozäne Foraminiferen von Wawrowitz bei Troppau. Verh. d. naturf. Ver. in Brünn, LIV. Bd. (1915), p. 98. Brünn 1916.

Leardi in Airaghi Z., Foraminiferi eocenici di S. Genesio (Collina di Torino). Atti della Soc. Ital. di sc. nat. e del Museo civ. di Storia nat. in Milano, Vol. XLIII, p. 158. Milano 1904.

— Foraminiferi eocenici di S. Genesio, Collina di Torino. Il genere Rupertia. Atti della Soc. Ital. etc., Vol. XLIV, p. 97. Milano 1905.

Liebus A., Über die Foraminiferenfauna des Bryozoënhorizontes von Priabona. N. Jahrb. f. Min. etc. Jahrg. 1901, Bd. I, p. 111. Stuttgart 1901.

— Ergebnisse einer mikroskopischen Untersuchung der organischen Einflüsse der oberbayrischen Molasse. Jahrb. d. k. k. geol. Reichs-A., Bd. 52, p. 71. Wien 1902.

— Die Foraminiferenfauna der mitteleocänen Mergel von Norddalmatien. Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wiss.; math.-nat. Kl., Bd. CXX, Abt. I, p. 865. Wien 1911.

Lörenthey J., Bemerkung zu der alttertiären Foraminiferenfauna Ungarns. Math. u. naturw. Ber. aus Ungarn. 26. Bd. (1908), p. 152. Leipzig 1913.

Martelli A., Le formazioni geologiche ed i fossili di Paxos e Antipaxos nel Mare Jonio. Boll. della Soc. geol. Ital., Vol. XX, p. 394. Roma 1901.

— I fossili dei terreni eocenici die Spalato in Dalmazia. Palaeontogr. Ital., Vol. VIII, p. 43. Pisa 1902.

Noth R., Die Foraminiferen der roten Tone von Barwinek und Komarnók. Beitr. z. Pal. u. Geol. Öst.-Ung. u. d. Or., Bd. XXV, p. 1. Wien 1912.

Oppenheim P., Die Priabonaschichten und ihre Fauna. Palaeontogr., Bd. XLVII, p. 1. Stuttgart 1900 bis 1901.

— Über einige alttertiäre Faunen der österreichisch-ungarischen Monarchie. Beitr. z. Pal. u. Geol. Öst.-Ung. u. d. Or., Bd. XIII, p. 145. Wien 1901.

Orbigny A. d', Foraminifères fossiles du bassin tertiaire de Vienne (Autriche). Paris 1846.

Osimo G., Di alcuni Foraminiferi dell'Eocene superiore di Celebes. Rivista Ital. di Pal., Vol. XIV. Perugia 1908.

— Studio critico sul genere Alveolina d'Orb. Palaeontogr. Ital., Vol. XV, p. 71. Pisa 1909.

Penecke K. A., Das Eozän des Krappfeldes in Kärnten. Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wiss., math.-nat. Kl., Bd. XC., p. [327]. Wien 1884.

Prever P. L., Le Nummuliti della Forca di Presta nell' Appennino centrale e dei dintorni di Potenza nell' Appennino meridionale. Mém. de la Soc. paléont. Suisse, Vol. XXIX. Genève 1902.

— Osservazioni sulla sottofamiglia delle Orbitoidinae. Rivista Ital. di Paleont., Vol. X. p. 111. Perugia 1904.

— La Fauna a Nummuliti e ad Orbitoidi dei terreni terziarii dell' alta valle dell' Aniene. Mem. per serv. alla descr. della carta geol. d'Italia pubbl. a cura del R. Comit. geol., Vol. V, parte secd. Roma 1912.

Prever und A. Rzehak, Über einige Nummuliten und Orbitoiden von österreichischen Fundorten. Verh. d. naturf. Ver. in Brünn, XLII. Bd. (1903), p. 190. Brünn 1904.

Provale J., Di alcune Nummulitinae ed Orbitoidinae dell' isola di Borneo. Parte I. Rivista Ital. di Pal., Vol. XIV, Perugia 1908, Parte II, l. c., Vol. XV. Perugia 1909.

Reuss A. E., Neue Foraminiferen aus den Schichten des österreichischen Tertiärbeckens. Denkschr. d. kais. Akad. d. Wiss.. math.-nat. Kl., Bd. I. Wien 1849.

— Über die fossilen Foraminiferen und Entomostraceen der Septarienthone der Umgegend von Berlin. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Ges., Bd. III, Verhandl., p. 49. Berlin 1851.

— Die fossilen Foraminiferen, Anthozoën und Bryozoën von Oberburg in Steiermark. Ein Beitrag zur Fauna der oberen Nummulitenschichten. Denkschr. d. kais. Akad. d. Wiss., math.-nat. Kl., Bd. XXIII. Wien 1864.

— Die Foraminiferen, Anthozoën und Bryozoën des deutschen Septarienthones. Denkschr. d. kais. Akad. d. Wiss., math.-nat. Kl., Bd. XXV, p. [117]. Wien 1866.

— Die fossile Fauna der Steinsalzablagerung von Wieliczka in Galizien. Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wiss., math.-nat. Kl., Bd. LV, I. Abt. Wien 1867.

Rütimeyer L., Über das schweizerische Nummulitenterrain mit besonderer Berücksichtigung des Gebirges zwischen dem Thunersee und der Emme. Bern 1850.

Rutten L., Foraminiferen-führende Gesteine von Niederländisch Neu-Guinea. Nova Guinea. Résult. de l'exped. scient. Néerland. à la Nouv.-Guin. en 1903 sous les ausp. de A. Wichmann, Vol. VI. Géol. Livr. II, Leide 1914.

— Studien über Foraminiferen aus Ostasien. Sammlg. d. geol. Reichsmus. in Leiden, Ser. I, Beitr. z. Geol. Ost-Asiens und Australiens, Bd. IX, Heft 4, p. 201, 219 und 281. Leiden 1914.

Rzehak A., Die Foraminiferen des kieseligen Kalkes von Nieder-Hollabrunn und des Melettamergels der Umgebung von Bruderndorf in Niederösterreich. Ann. d. k. k. naturh. Hofmus., Bd. III, p. 257. Wien 1888.

— Die Foraminiferenfauna der alttertiären Ablagerungen von Bruderndorf in Niederösterreich. Ann. d. k. k. naturh. Hofmus., Bd. VI. Wien 1891.

Schafhäutl K. E., Südbayerns Lethaea geognostica. Der Kressenberg und die südlich von ihm gelegenen Hochalpen (Text u. Atlas). Leipzig 1863.

Schlumberger Ch., Sur l'Orbulina universa d'Orb. Compt. rend. des séanc. de l'acad. des Sc., p. 1002. Paris 1884.

— Note sur les Biloculina bulloides d'Orb. et Biloculina ringens Lam. Bull. de la Soc. géol. de France, III. sér., tom XV, p. 119. Paris 1887.

— Note sur le genre Tinoporus. Mém. de la Soc. zoolog. de France, tom. IX, p. 85. Paris 1896.

— Troisième note sur les Orbitoides. Bull. de la Soc. géol. de France, IV. sér., tom. III, p. 273. Paris 1903.

— Quatrième note sur les Orbitoides. Bull. de la Soc. géol. de France, IV. sér., tom. IV, p. 119. Paris 1904.

Schubert R. J., Die miocäne Foraminiferenfauna von Karwin (Österr. Schlesien). Sitzungsber. d. Deutsch. naturw.-medicin. Ver. f. Böhmen »Lotos«, Bd. XIX. Prag 1899.

— Über die Foraminiferenfauna und Verbreitung des nordmährischen Miocäntegels. Sitzungsber. d. Deutsch. naturw.-medicin. Ver. f. Böhmen »Lotos«, Bd. XX. Prag 1900.

— Über die Foraminiferen des grünen Tuffes von St. Giovanni Ilarione (im Vicentinischen). Zeitschrift d. Deutsch. geol. Ges., Bd. LIII, Briefl. Mitt., p. 15. Berlin 1901.

Schubert R. J., Geologischer Führer durch Dalmatien. Sammlung geol. Führer, XIV. Verlag Borntraeger. Berlin 1909.

— Die fossilen Foraminiferen des Bismarckarchipels und einiger angrenzender Inseln. Abh. d. k. k. geol. Reichs-A., Bd. XX, Heft 4. Wien 1911.

— Geologischer Führer durch die nördliche Adria. Sammlung geol. Führer XVII. Verlag Borntraeger. Berlin 1912.

— Beitrag zur fossilen Foraminiferenfauna von Celebes. Jahrb. d. k. k. geol. Reichs-A., Bd. LXIII, p. 127. Wien 1913.

— Über mitteleozäne Nummuliten aus dem mährischen und niederösterreichischen Flysch. Verh. d. k. k. geol. Reichs-A. 1913, p. 123. Wien 1913.

— Über Foraminiferengesteine der Insel Letti. Jaarb. van het Mijnw. in Nederl. Oost-Indie. 43. Jahrg. (1914). Verhand. I. Deel, p. 167. S'Gravenhage 1915.

Schwager C., Fossile Foraminiferen von Kar Nikobar. Novara Exped., Geol. Teil, II. Bd., Wien 1866.

— Die Foraminiferen aus den Eocaenablagerungen der libyschen Wüste und Ägyptens. Palaeontogr. Bd. XXX, p. 79. Cassel 1883.

Sherborn Ch. D., An index to the genera and species of the Foraminifera. Part I und II. Smithsonian miscell. collections. No. 856 u. 1031. Washington 1893 u. 1896.

Silvestri A., Considerazioni paleontologiche e morfologiche sui generi Operculina, Heterostegina, Cycloclypeus. Boll. de Soc. geol. Ital., Vol. XXVI, p. 29. Roma 1907.

Spandel E., Der Rupelton des Mainzer Beckens, seine Abteilungen und deren Foraminiferenfauna. 43. bis 50. Ber. üb. d. Tätigk. d. Offenbacher Ver. f. Naturk. in d. Vereinsjahren 1901 bis 1909, p. 57. Offenbach a. M. 1909.

Tellini A., Le Nummulitidi della Majella delle Isole Tremiti e del Promontorio Garganico. Boll. d. Soc. geol. Ital., Vol. IX, p. 1. Roma 1890.

Terquem M., Les Foraminifères de l'éocène des environs de Paris. Mém. de la Soc. géol. de France. III. sér., tom II. Paris 1882.

Toula F., Über Orbitoiden und Nummuliten führende Kalke vom »Goldberg« bei Kirchberg am Wechsel, Jahrb. d. k. k. geol. Reichs-A., Bd. XXIX, p. 123. Wien 1879.

— Über den marinen Tegel von Neudorf an der March (Dévény—Ujfalu) in Ungarn und seine Mikrofauna. Jahrb. d. k. geol. Reichs-A., Bd. LXIV (1914), p. 635. Wien 1915.

Uhlig V., Über eine Mikrofauna aus dem Alttertiär der westgalizischen Karpathen. Jahrb. d. k. k. geol. Reichs-A., Bd. XXXVI, p. 141. Wien 1886.

Verbeek R. D. M., et R. Fennema, Description géologique de Java et Madoura. Tome I. et II. Amsterdam 1896.

Zittel K. A., v., und F. Broili, Grundzüge der Paläontologie (Paläozoologie). I. Abt. Invertebrata. 4. verb. u. verm. Aufl. München u. Berlin 1915.

Vergleich der beschriebenen Fossilien mit solchen anderer Fundorte.

Namen der Fossilien (+ identische Formen, × verwandte Formen)	Mittel-Eozän von: Radstadt	Kirchberg	Wimpassing	Kressenberg	Mattsee	Guttaring	Ober-Eozän oder Unter-Oligozän von Bruderndorf, Wola luzańska	Sonstige Vorkommen
Furcoporella diplopora n. sp. (Pia)	+	.	.	.	.	.	.	Eine verwandte Art in der Unterkreide der Westalpen und des Rhätikon.
Lithothamnium torulosum Gümb.	+	+	+	+	+	?	.	Eozän von Süd-Tirol, Italien, Dalmatien, Griechenland.
» *nummuliticum* Gümb.	+	+	+	+	+	?	+	» » » » » „ , Schweiz.
» (?) sp.	+	+	+	.	.	.	.	.
Rheophax sp.	.	.	+	.	.	.	.	In allen Meeren und Tiefen vertretene Gattung.
Haplophragmium sp.	+	.	+	×	.	.	.	
Orbitolites cf. *complanata* Lam. sp.	+	.	.	.	.	+	.	Eozän von Europa und Indien.
Alveolina oblonga d'Orb.	+	.	?	+	.	×	.	» » Frankreich, Italien, Nord-Afrika, Indien.
Miliola sp.	+	+	+	.	.	.	.	.
Biloculina bulloides d'Orb.	+	.	.	.	.	.	.	Pariser Eozän; Miozän—rezent in weiter Verbreitung.
Miliolina (*Triloculina*) *tricarinata* d'Orb.	+	.	.	.	.	.	.	„ und Londoner Eozän; Miozän — rezent in weiter Verbreitung.
» » sp.	+	+	+	.	.	.	.	Gegenwärtig besonders in den tropischen und gemäßigten Küsten- und Flachseegebieten.
» (*Quinqueloculina*) sp.	+	+	+	.	.	.	.	
Nodosaria cf. *acuminata* Hantk.	+	.	.	.	.	.	.	Unter-Oligozän (*Clavulina Szabói*-Schichten) von Budapest
» sp.	.	+	.	×	.	.	×	Gegenwärtig in Ästuarien, der Flach- und Tiefsee lebd. Gattung.
Cristellaria (*Robulina?*) sp.	+	.	.	×	.	.	×	.
Textularia sp.	+	+	+	×	.	.	.	An kosmopolitische Arten des Seichtsee-Benthos erinnernd.
Bolivina sp.	+	.	.	.	.	.	.	Gegenwärtig besonders im Flachsee-Benthos auftretende Gattung.
Globigerina bulloides d'Orb.	+	+	.	+	.	.	.	Pelag. (plankton.) Kosmopolit, Unter-Kreide—rezent.

Orbulina universa d'Orb.	+	.	.	.	.	.	.	Pelag. (plankton.) Kosmopolit; Lias—rezent.
Discorbina sp.	+	+	+	×	.	.	×	Weltweit in der Flachsee verbreitete Gattung.
Planorbulina cf. *mediterranensis* d'Orb.	+	.	.	.	.	.	.	Oligozän—rezent; gegenwärtig in tropischen und gemäßigten Seichtseegebieten.
Truncatulina bullata Frnzn. sp.	+	+	+	.	.	.	.	Oligozän von Budapest.
» sp.	+	+	.	×	.	.	×	.
Rotalia cf. *lithothamnica* Uhl.	+	.	.	.	.	.	+	.
» n. sp	+	.	.	.	.	.	.	Eine verwandte Form im Alt-Miozän von Celebes.
» n. sp. aff. *Schroeteriana* Park. et Jon.	+	+	+	.	.	.	.	» » » (*R. Schroeteriana*) im Quartär von Celebes.
» sp.	+	+	+	×	.	.	×	Gegenwärtig in tropischen und subtropischen Seichtseegebieten lebende Gattung.
Pulvinulina bimammata Gümb. sp.	+	+	+	+	.	.	+	Eozän der Schweiz, Nord-Italiens, Nord-Dalmatiens.
» *rotula* Kfm. sp.	+	+	+	+	.	.	+	» » » » » ; Oligozän von Ungarn.
Polytrema planum Cart.	+	.	.	.	.	.	.	Sessil von Alt-Miozän—rezent in der malay.-polynes. Region.
Gypsina globulus Rss. sp.	+	.	.	.	.	.	+	Eozän—Miozän Europas, des malay. Archipels etc., gegenwärtig besonders im Litoral- und Flachseegebiet der warmen Breiten.
» *vesicularis* Park. et Jon. sp.	+	.	.	.	.	.	.	Eozän von Italien; im Jungtertiär und gegenwärtig in ähnlicher Verbreitung wie *G. globulus*.
Pseudogypsina multiformis n. sp.	+	.	.	.	.	.	.	.
Rupertia furcatesceplata n. sp.	+	.	.	.	.	.	×	Verwandte Arten im Eozän von Nord-Italien.
Operculina sp.	+	+	+	×	+	×	×	.
Nummulites (*Assilina*) *exponens* Sow.	+	+	+	+	+	+	.	Im mediterr. Mittel-Eozän weit verbreitet (Süd-Europa, Süd-Asien, Nord-Afrika).
» (*Paronaea*) *irregularis* Desh.	+	.	.	+	+	.	.	Im mediterr. Mittel-Eozän weit verbreitet (Süd-Europa, Nord-Afrika)
» „ *Murchisoni* Brunn.	+	.	.	+	.	+	.	Im mediterr. Mittel-Eozän weit verbreitet (Süd-Europa, malay. Archipel).
» » *atacicus* Leym.	+	.	.	+	+	+	.	Im mediterr. Mittel-Eozän weit verbreitet (Süd-Europa, Süd-Asien, Nord-Afrika).
» » *millecaput* Boub.	+	.	.	+	+	+	.	Häufig im Mittel-Eozän, seltener im Ober-Eozän und Unter-Oligozän (Süd-Europa).

Namen der Fossilien (+ identische Formen, × verwandte Formen)	Mittel-Eozän von Radstadt	Kirchberg	Wimpassing	Kressenberg	Mattsee	Guttaring	Ober-Eozän oder Unter-Oligozän von Bruderndorf, Wola luzańska	Sonstige Vorkommen
Nummulites (*Gümbelia*) *perforatus* de Montf.	+	.	.	+	+	+	.	Im mediterr. Mittel-Eozän weit verbreitet (Süd-Europa, Süd-Asien, Nord-Afrika).
Nummulina sp.	+	+	+	×	×	×	×	.
Cycloclypeus n. sp.	.	+	.	.	.	.	.	Im Eozän von Italien und Java, vom Oligozän—rezent im Gebiet des pazif. und indisch. Ozeans vorkommende Gattung, benthon. in der Seichtsee nahe den Korallenriffen lebend.
Orthophragmina discus Rtm. var. n. *minima*	+	+	+	?	×	.	.	Im Eozän (besonders Lutétien) der Schweiz und Italiens auftretende Art.
» *Pratti* Mich. sp.	+	+	+	+	+	+	+	Ezoän und Unter-Oligozän von Süd-Europa, Süd-Asien, Nord-Afrika.
» *radstadtensis* n. sp.	+	.	.	.	.	.	.	.
» *varians* Kfm. sp.	+	.	.	+	.	+	+	Eozän und Unter-Oligozän des europäischen Mediterr.-Gebietes.
» *dispansa* Sow. sp.	+	+	.	+	.	+	+	Eozän und Oligozän von Süd-Europa, Nord-Afrika, Süd-Asien, Polynesien.
» *Douvillei* Schlumb.	+	.	.	.	.	.	.	Eozän von Süd-Frankreich und Italien.
» *Taramellii* Mun.-Chalm.	+	+	.	+	.	.	.	Eozän von Süd-Europa.
» sp.	+	+	+	×	×	×	×	.
Anthozoa (*Actinacis*, *Astraeopora* etc.)	+	+[1]	+	×	×	.	.	.
Echinodermata (*Crinoidea*, *Echinoidea*)	+	+[1]	+	×	×	×	×	.
Serpula sp.	+	+	.	×	×	×	.	.
Bryozoa (*Cyclostomata*, *Cheilostomata*)	+	+[1]	+	×	.	.	×	.
Terebratulidae	+	+	?	×	×	×	×	.
Lamellibranchiata (*Ostrea*, *Pecten* etc.)	+	+[1]	+	×	×	×	×	.
Dentalium cf. *nitidum* Desh.	+	+	+	.	×	+	.	Unter-Eozän des Pariser Beckens.
Gastropoda (*Natica* etc.)	+	+[1]	.	×	×	×	.	.

1 Die von F. Toula festgestellten Gattungen und Arten vgl. p. 25 bis 27 [195 bis 197].

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Vorwort . . . . . 1 [171]

I. Allgemeiner Teil . . . . . 3 [173]

Das Eozän bei Radstadt im Pongau . . . . . 3 [173]

Entdeckung und spätere Mitteilungen . . . . . 3 [173]

Verbreitung und Lagerung . . . . . 6 [176]

Gesteinsbeschaffenheit und Fossilführung . . . . . 11 [181]

Geologisches Alter . . . . . 14 [184]

Fazies und Vergleich mit anderen Ablagerungen . . . . . 19 [189]

Das Eozän bei Kirchberg am Wechsel . . . . . 24 [194]

Das Eozän bei Wimpassing am Leithagebirge . . . . . 28 [198]

Paläogeographische Verhältnisse . . . . . 30 [200]

Literatur über das Eozän von Radstadt, Kirchberg und Wimpassing . . . . . 38 [208]

II. Paläontologischer Teil . . . . . 39 [209]

Thallophyta . . . . . 39 [209]

Familie: *Dasycladaceae* (Endl.) Cram. em. Von Dr. Julius von Pia . . . . . 39 [209]

Furcoporella diplopora nov. gen. nov. spec. (Pia) . . . . . 39 [209]

Familie: *Corallinaceae* (Gray) Harv. Von Dr. Friedrich Trauth . . . . . 43 [213]

Lithothamnium torulosum Gümb. . . . . . 43 [213]

— *nummuliticum* Gümb. . . . . . 49 [219]

— (?) spec. . . . . . 50 [220]

Foraminifera . . . . . 52 [222]

Familie: *Lituolidae* Brady . . . . . 52 [222]

Rheophax spec. . . . . . 52 [222]

Haplophragmium spec. . . . . . 52 [222]

Familie: *Miliolidae* Carp. . . . . . 52 [222]

Orbitolites cf. *complanata* Lam. spec. . . . . . 52 [222]

Alveolina oblonga d'Orb. . . . . . 53 [223]

Miliola spec. div. . . . . . 57 [227]

Biloculina bulloides d'Orb. . . . . . 57 [227]

Miliolina (Triloculina) tricarinata d'Orb. spec. . . . . . 58 [228]

— *(Quinqueloculina)* spec. . . . . . 59 [229]

Familie: *Lagenidae* Carp. . . . . . 59 [229]

Nodosaria cf. *acuminata* Hantk. . . . . . 59 [229]

Cristellaria (Robulina ?) spec. . . . . . 59 [229]

Familie: *Textularidae* Schultze . . . . . 60 [230]

Textularia spec. div. . . . . . 60 [230]

Bolivina spec. . . . . . 60 [230]

Familie: *Globigerinidae* Carp. . . . . . 60 [230]

Globigerina bulloides d'Orb. . . . . . 60 [230]

Orbulina universa d'Orb. . . . . . 61 [231]

Familie: *Rotalidae* Carp. . . . . . 62 [232]

Discorbina spec. div. . . . . . 62 [232]

Planorbulina cf. *mediterranensis* d'Orb. . . . . . 62 [232]

Truncatulina bullata Frnzn. spec. . . . . . 63 [233]

Seite

Truncatulina spec. . . . . 65 [235]

Genus *Rotalia* . . . . . 65 [235]

Rotalia cf. *lithothamnica* Uhl. . . . . 66 [236]

— nov. spec. . . . . 67 [237]

— nov. spec. aff. *Schroeteriana* Park. et Jon. . . . . 67 [237]

Pulvinulina bimammata Gümb. spec. . . . . 68 [238]

— *rotula* Kfm. spec. . . . . 69 [239]

Polytrema planum Cart. . . . . 70 [240]

Gypsina globulus Reuss spec. . . . . 72 [242]

— *vesicularis* Park. et Jon. spec. . . . . 73 [243]

Pseudogypsina nov. gen. . . . . 73 [243]

— *multiformis* nov. spec. . . . . 74 [244]

Rupertia furcateseptata nov. spec. . . . . 75 [245]

Familie: *Nummulinidae* Carp. . . . . 77 [247]

Operculina spec. . . . . 77 [247]

Genus *Nummulites* . . . . . 78 [248]

Nummulites (*Assilina*) *exponens* Sow. . . . . 80 [250]

— (*Paronaea*) *irregularis* Desh. . . . . 81 [251]

— — *Murchisoni* Brunn . . . . . 81 [251]

— — *atacicus* Leym. . . . . 82 [252]

— — *millecaput* Boub. . . . . 83 [253]

— (*Gümbelia*) *perforatus* de Montf. . . . . 83 [253]

Cycloclypeus nov. spec. . . . . 84 [254]

Genus *Orthophragmina* . . . . . 86 [256]

Orthophragmina discus Rtm. spec. var. nov. *minima* . . . . . 87 [257]

— *Pratti* Mich. spec. . . . . 88 [258]

— *radstadtensis* nov. spec. . . . . 90 [260]

— *varians* Kfm. spec. . . . . 91 [261]

— *dispansa* Sow. spec. . . . . 92 [262]

— *Douvillei* Schlumb. . . . . 93 [263]

— *Taramellii* Mun.-Chalm. . . . . 94 [264]

Anthozoa . . . . . 95 [265]

Echinodermata . . . . . 95 [265]

Vermes . . . . . 96 [266]

Serpula spec. . . . . 96 [266]

Bryozoa . . . . . 96 [266]

Brachiopoda . . . . . 96 [266]

Lamellibranchiata . . . . . 97 [267]

Scaphopoda . . . . . 97 [267]

Dentalium cf. *nitidum* Desh. . . . . 97 [267]

Gastropoda . . . . . 98 [268]

Verzeichnis der benützten Foraminiferen-Literatur . . . . . 99 [269]

Tabelle: Vergleich der beschriebenen Fossilien mit solchen anderer Fundorte . . . . . 104 [274]

Tafel I.

Tafel I.

Seite

Fig. 1. *Furcoporella diplopora* n. gen. n. sp. (Pia). Der Längsrichtung genäherter Schrägschnitt. Vergrößerung 30 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 19 . . . . 39 [209]

» 2. — — n. gen. n. sp. (Pia). Querschnitt. Vergrößerung 33 : 1. Radstadt, Schliff im Besitze Dr. J. v. Pia's 39 [209]

» 3. *Lithothamnium torulosum* Gümb. Längsschnitt durch ein Ästchen. Vergrößerung 65 : 1. Wimpassing, Schliff Nr. IV . . . . 43 [213]

» 4. — — Gümb. Querschnitt durch ein Ästchen. Vergrößerung 65 : 1. Kirchberg, Schliff Nr. VI . . . . 43 [213]

» 5. — — Gümb. Schnitt mit Tetrasporangien. Vergrößerung 21 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 26 . . . . . . 43 [213]

» 6. — — Gümb. Schnitt mit Conceptakeln (unten) . . . . 43 [213]

Anthozoën-Stock. Schrägschnit (oben). Vergrößerung 21 : 1. Wimpassing, Schliff Nr.I . . . . 95 [265]

» 7. *Lithothamnium torulosum* Gümb. Längsschnitt durch ein Ästchen von bryozoënähnlichem Erhaltungszustand. Vergrößerung 21 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 34 . . . . 43 [213]

» 8. — — Gümb. Längsschnitt durch ein Ästchen von bryozoënähnlichem Erhaltungszustand. Vergrößerung 70 : 1. Kirchberg, Schliff Nr. 39 . . . . 43 [213]

» 9. — — Gümb. Querschnitt durch ein Fragment von bryozoënähnlichem Erhaltungszustand. Vergrößerung 70 : 1. Wimpassing, Schliff Nr. 36 . . . . 43 [213]

» 10. — — Gümb. Querschnitt durch ein Fragment von bryozoënähnlichem Erhaltungszustand. Vergrößerung 165 : 1. Wimpassing, Schliff Nr. 36 . . . . 43 [213]

» 11. *Nummulites (Assilina) exponens* Sow. Querschnitte. Vergrößerung 15 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 21 . . . . 80 [250]

1 2 3

4 5 6

9 10

7 8 11

Lotte Adametz, phot.

Lichtdruck v. Max Jaffé, Wien.

Tafel II.

Tafel II.

Seite

Fig. 1. *Lithothamnium nummuliticum* Gümb. Größtenteils aus nur zwei Zellenreihen bestehender Rest. Vergrößerung 92 : 1. Wimpassing, Schliff Nr. 36 . . . . . 49 [219]

» 2. — (?) sp. Zwei aus je zwei Zellenreihen bestehende Fragmente (Schrägschnitte). Vergrößerung 30 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 22 . . . . . 50 [220]

» 3. — (?) sp. Ein aus zwei Zellenreihen bestehendes Fragment (Schrägschnitt). Vergrößerung 92 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 22 . . . . . 50 [220]

» 4. *Orbitolites* cf. *complanata* Lam. sp. Querschnitt (unten) . . . . . 52 [222]
Bryozoën-Rest (oben). Vergrößerung 21 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 28 . . . . . 96 [266]

» 5. *Orbitolites* cf. *complanata* Lam. sp. Querschnitt. Vergrößerung 21 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 6 . . . . . 52 [222]

» 6. ? — — Lam. sp. Querschnitt. Vergrößerung 30 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 19 . . . . . 52 [222]

» 7. *Alveolina oblonga* d'Orb. Tangential- (Längs-)schnitt. Vergrößerung 30 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 6 . . . . . 53 [223]

» 8. — — d'Orb. Sagittal- (Quer-)schnitt. Vergrößerung 30 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 30 . . . . . 53 [223]

» 9. — — d'Orb. Peripherer Tangentialschnitt. Vergrößerung 30 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 18 . . . . . 53 [223]

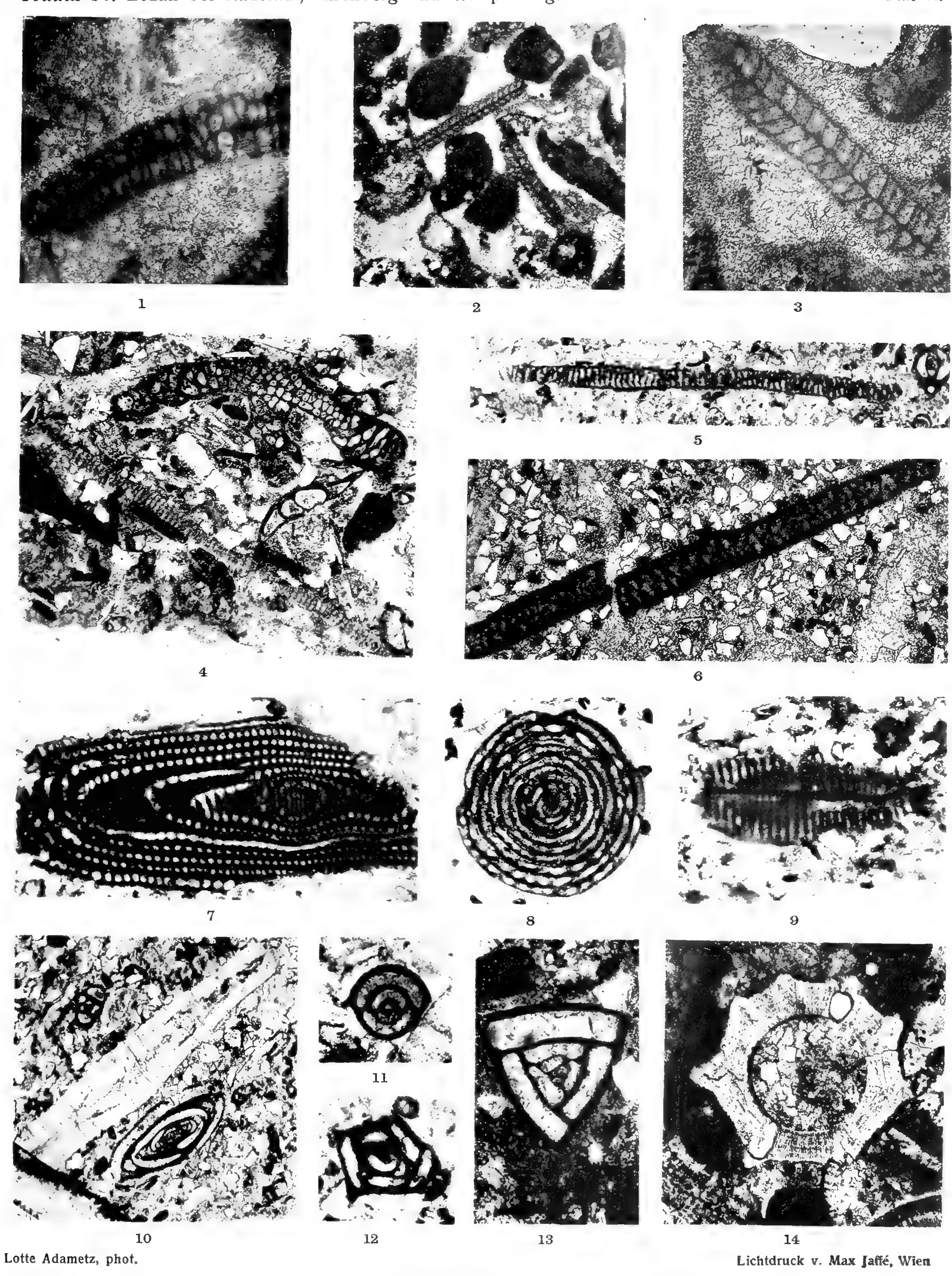
» 10. *Miliola* sp. Längsschnitt (Mitte unten) . . . . . 57 [227]
Nummulites (Assilina) exponens Sow. Querschnitt (Mitte). Vergrößerung 21 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 6 . . 80 [250]

» 11. *Biloculina bulloides* d'Orb. Querschnitt. Vergrößerung 30 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 28 . . . . . 57 [227]

» 12. *Miliolina (Quinqueloculina)* sp. Querschnitt. Vergrößerung 30 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 6 . . . . . 59 [229]

» 13. — *(Triloculina) tricarinata* d'Orb. sp. Querschnitt. Vergrößerung 70 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 28 . . . 58 [228]

» 14. *Nodosaria* cf. *acuminata* Hantk. Querschnitt. Vergrößerung 70 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 35 . . . . . 59 [229]



Lotte Adametz, phot.

Lichtdruck v. Max Jaffé, Wien

Tafel III.

Tafel III.

Seite

Fig. 1. *Gypsina globulus* Reuss sp. Durchschnitt. Vergrößerung 30 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 17 . . . . 72 [242]

» 2. — *vesicularis* Park. et Jon. sp. Durchschnitt. Vergrößerung 30 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 34 . . . . . 73 [243]

» 3. *Planorbulina* cf. *mediterranensis* d'Orb. Querschnitt. Vergrößerung 30 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 34 . . . . 62 [232]

» 4. *Rotalia* sp. Längsschnitt. Vergrößerung 30 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 34 . . . . 65 [235]

» 5. — cf. *lithothamnica* Uhl. Tangentialer Längsschnitt. Vergrößerung 70 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 34 . . 66 [236]

» 6. — n. sp. aff. *Schroeteriana* Park. et Jon., Querschnitt (oben) . . . . 67 [237]

Nummulina sp. Querschnitt einer mikrosphärischen Form (unten). Vergrößerung 30 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 34 . 78 [248]

» 7. *Rotalia* n. sp. Querschnitt. Vergrößerung 33 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 35 . . . . 67 [237]

» 8. — cf. *lithothamnica* Uhl. Querschnitt. Vergrößerung 30 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 34 . . . . 66 [236]

» 9. *Textularia* sp. Längsschnitt. Vergrößerung 21 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 28 . . . . 60 [230]

» 10. *Bolivina* sp. Längsschnitt. Vergrößerung 70 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 17 . . . . 60 [230]

» 11. *Truncatulina bullata* Frnzn. sp. Quer (Vertikal-)schnitt. Vergrößerung zirka 126 : 1. Kirchberg, Schliff Nr. 39 . 63 [233]

» 12. — — Frnzn. sp. Längsschnitt. Vergrößerung 70 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 28 . . . . 63 [233]

» 13. *Rupertia furcateseptata* n. sp. Horizontal-(Quer-)schnitt. Vergrößerung 30 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 16 . . . 75 [245]

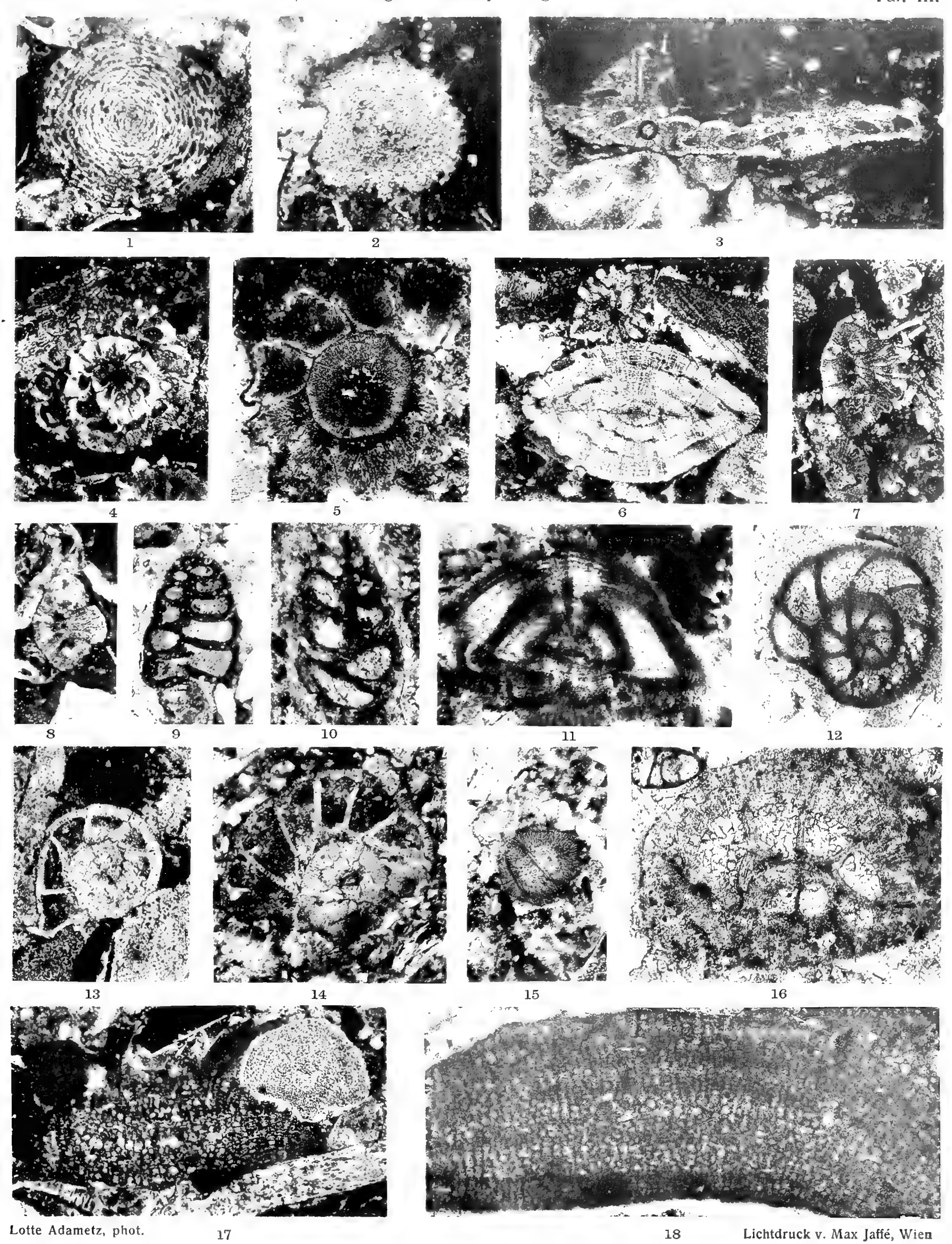
» 14. — — n. sp. Ungefährer Horizontal-(Quer-)schnitt. Vergrößerung 21 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 28 . . . 75 [245]

» 15. — — n. sp. Peripherer Segmentalschnitt. Vergrößerung 21 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 28 . . . . 75 [245]

» 16. — — n. sp. Ungefährer Vertikal-(Längs-)schnitt. Vergrößerung 70 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 28 . . . . 75 [245]

» 17. *Polytrema planum* Cart. Querschnitt (Mitte) . . . . 70 [240]
Echinodermen-Rest (rechts oben). Vergrößerung 30 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 34 . . . . 95 [265]

» 18. *Polytrema planum* Cart. Ungefährer Querschnitt. Vergrößerung 30 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 18. . . . . . 70 [240]



Lotte Adametz, phot. Lichtdruck v. Max Jaffé, Wien

Tafel IV.

Tafel IV.

Seite

Fig. 1. *Pulvinulina rotula* Kfm. sp. Querschnitt (links unten) . . . . 69 [239]

Pseudogypsina multiformis n. gen. n. sp. Durchschnitt (rechts oben). Vergrößerung 21 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 16. . . . . 74 [244]

» 2. — — n. gen. n. sp. Verschiedene Durchschnitte . . . . 74 [244]

Rotalia cf. *lithothamnica* Uhl. Querschnitt (links unten). Vergrößerung 21 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 34 . . 66 [236]

» 3. *Pseudogypsina multiformis* n. gen. n. sp. Längsschnitt. Vergrößerung 70 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 35 . . . 74 [244]

» 4. — — n. gen. n. sp. Querschnitt. Vergrößerung 70 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 35 . . . . 74 [244]

» 5. — — n. gen. n. sp. Querschnitt. Vergrößerung 70 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 34 . . . . 74 [244]

» 6. *Nummulina* sp. Querschnitt einer makrosphärischen Form. Vergrößerung 30 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 20 . 78 [248]

» 7. *Nummulites* (*Paronaea*) *irregularis* Desh. Längsschnitt. Vergrößerung zirka 5 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 18 . 81 [251]

» 8. *Cycloclypeus* n. sp. Querschnitt. Vergrößerung 30 : 1. Kirchberg, Schliff Nr. VII . . . . 84 [254]

» 9. — n. sp. Querschnitt. Vergrößerung 165 : 1. Kirchberg, Schliff Nr. VII. . . . . 84 [254]

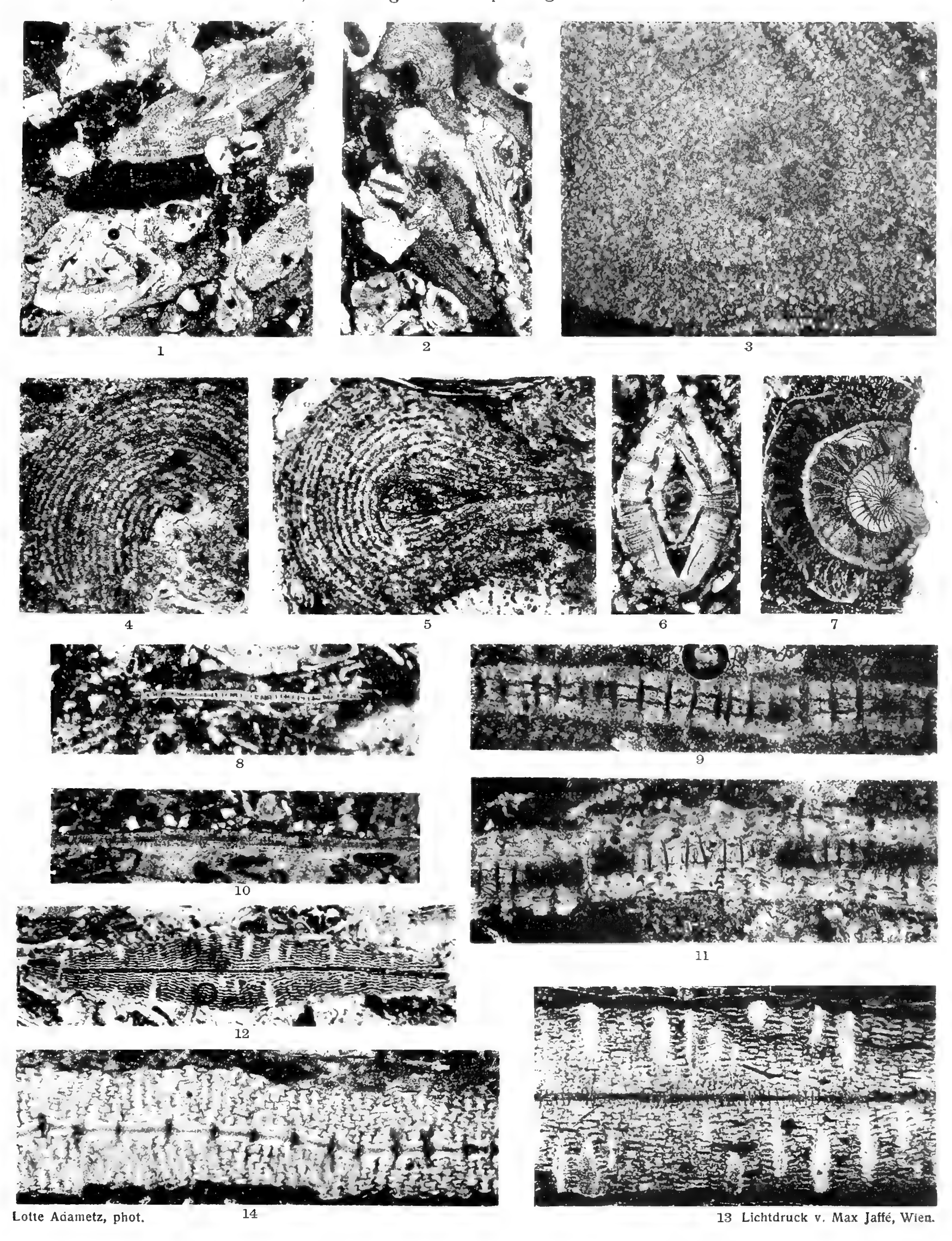
» 10. *Orthophragmina discus* Rtm. sp. var. n. *minima*. Querschnitt. Vergrößerung 21 : 1. Wimpassing, Schliff Nr. 36 . 87 [257]

» 11. — — Rtm. sp. var. n. *minima*. Querschnitt. Vergrößerung 70 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 34 . . . . 87 [257]

» 12. — *Pratti* Mich. sp. Querschnitt. Vergrößerung 21 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 26 . . . . 88 [258]

» 13. — — Mich. sp. Querschnitt. Vergrößerung 30 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 3 . . . . 88 [258]

» 14. — *radstadtensis* n. sp. Querschnitt. Vergrößerung 70 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 2 . . . . 90 [260]



Lotte Adametz, phot.

Lichtdruck v. Max Jaffé, Wien.

Tafel V.

Tafel V.

Seite

Fig. 1. *Orthophragmina* sp. Längs-(Horizontal-)schnitt, hauptsächlich die Neben- und nur in einer schmalen Zone die Hauptkammern zeigend. Vergrößerung 30 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 13 . . . . 86 [256]

» 2. — sp. Äquatorialschnitt. Vergrößerung 30 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 26 . . . . 86 [256]

» 3. — *Pratti* Mich. sp. Tangentialschnitt. Vergrößerung 30 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 17 . . . . 88 [258]

» 4. — *dispansa* Sow. Quer-(Meridian-)schnitt. Vergrößerung 30 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 35 . . . . . . 92 [262]

» 5. *Globigerina bulloides* d'Orb. Durchschnitt. Vergrößerung 70 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 2 . . . . 60 [230]

» 6. *Orthophragmina Pratti* Mich. sp. Schrägschnitt mit beiden makrosphärischen Anfangskammern (oben) . . 88 [258]

— *Douvillei* Schlumb., Querschnitt (unten). Vergrößerung 30 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 3 . . . . . . 93 [263]

» 7. — *Taramellii* Mun.-Chalm. Querschnitt. Vergrößerung 70 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 17 . . . . 94 [264]

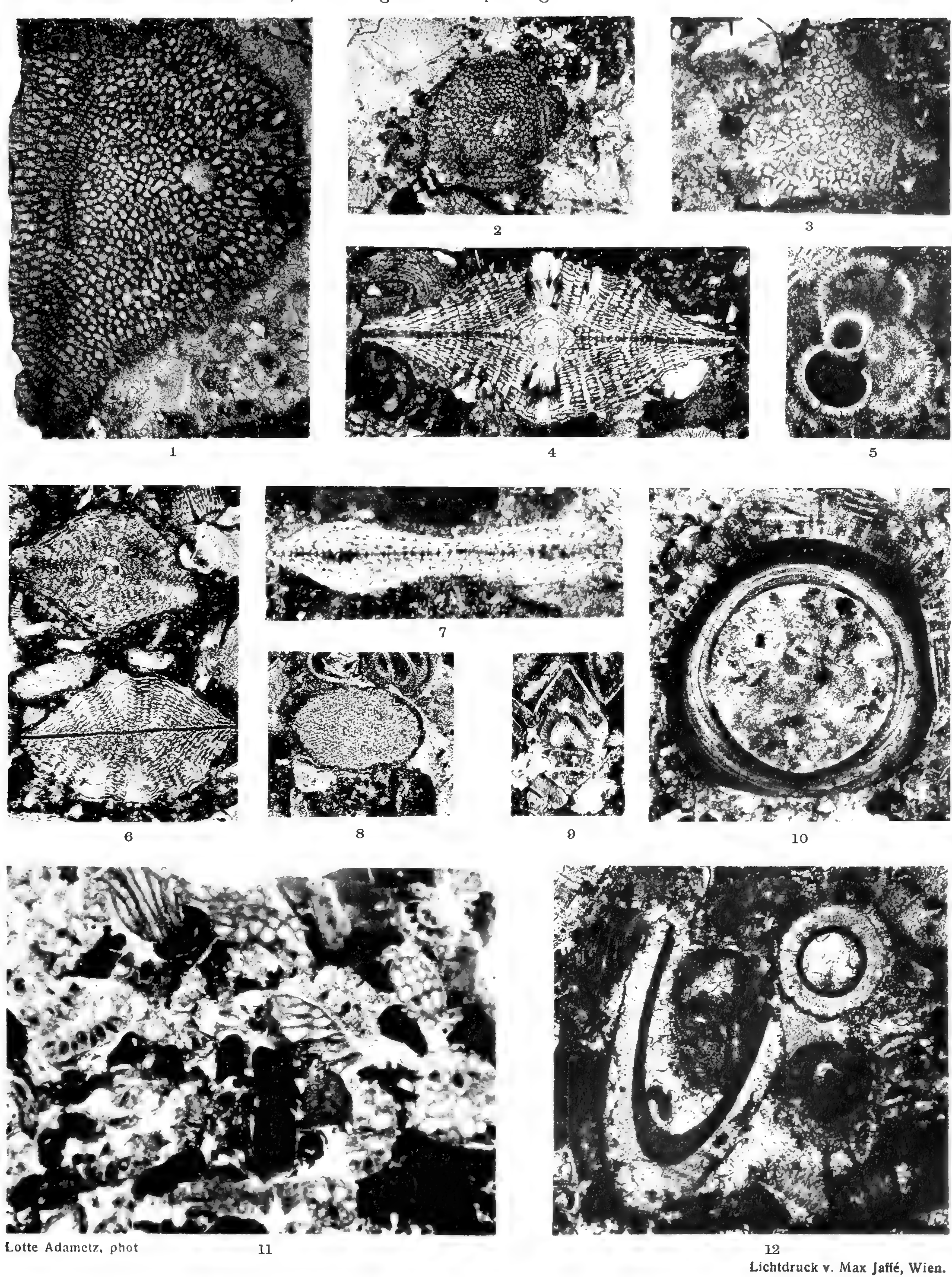
» 8. *Echinodermen*-Fragment. Vergrößerung 30 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 10 . . . . 95 [265]

» 9. *Cristellaria* (*Robulina ?*) sp. Querschnitt. Vergrößerung 21 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 17 . . . . 59 [229]

» 10. *Serpula* sp. Querschnitt. Vergrößerung 30 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 14 . . . . 96 [266]

» 11. *Bryozoën*-Reste. Vergrößerung 15 : 1. Kirchberg, Schliff Nr. 39 . . . . 96 [266]

» 12. *Dentalium* cf. *nitidum* Desh. Quer- (rechts oben) und Schrägschnitt (links unten). Vergrößerung 30 : 1. Radstadt, Schliff Nr. 9 . . . . 97 [267]



Lotte Adametz, phot

Lichtdruck v. Max Jaffé, Wien.

DAS AËROPLANKTON VON WIEN

VON

DR. FRIEDRICH PICHLER

AUS DEM PFLANZENPHYSIOLOGISCHEN INSTITUT DER K. K. UNIVERSITÄT IN WIEN Nr. 105
DER ZWEITEN FOLGE

MIT 1 TAFEL

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 12. JULI 1917

Einleitung.

Die Streitfrage, ob es eine Urzeugung gibt oder nicht, war der eigentliche Anlaß, die Luft zu untersuchen und sie auf lebende Keime zu prüfen. Obwohl schon von einigen Forschern die generatio spontanea bekämpft wurde, so hat doch erst Ehrenberg (6, 8) mit Sicherheit auf mikroskopischem Wege die Anwesenheit von Infusorien und Pilzsporen in der Luft nachgewiesen. Dadurch aber war noch nicht das Vorhandensein der Bakterien, welche mit dem Mikroskope allein schwer nachweisbar sind, erwiesen. Erst durch die wichtigen Untersuchungen Pasteur's (42, 43) wurde auch diese Frage gelöst und festgestellt, daß es heutzutage höchstwahrscheinlich keine Urzeugung gibt und daß alle, angeblich durch generatio spontanea entstandenen Lebewesen sich aus schon vorhandenen Keimen gebildet haben. Seither lenkte man das allgemeine Interesse auf diese Keime, da man bald ihre große Bedeutung sowohl für die Gärungsindustrie als auch für die Medizin und die Hygiene erkannte. Zahlreiche Luftuntersuchungen wurden an verschiedenen Orten, namentlich in Städten, wie in Berlin (6, 7, 47), Carlsberg in Dänemark (22), Dresden (18), Freiburg i./B. (57), Graz (56), Königsberg (58), London (30), Paris (35), St. Petersburg (44), Tokio (49, 52), Vaxholm (51) und in anderen unternommen. Für Wien waren solche Untersuchungen noch nicht vorgenommen worden. Daher hat mich Herr Hofrat Professor Dr. Hans Molisch mit der Aufgabe betraut, die Wiener Stadtluft auf ihre schwebenden Staubteilchen, welche von G. Bonnier (3, p. 13) als »plankton atmosphérique«, von Molisch (38, 39) als »Aëroplankton« bezeichnet werden, zu untersuchen.

Mein Arbeitsplan war, sowohl die Algen- und Pilzkeime als auch die anderen organisierten Bestandteile der Luft wie Pollenkörner, Pflanzenhaare, Stärkekörner u. a., zu untersuchen, da letztere nicht nur von allgemeinem Interesse sind, sondern einige auch für die Hygiene Bedeutung haben. Die Untersuchungen dieser organisierten Partikelchen, worüber ich im ersten Teile meiner Abhandlung berichte, fanden mit Hilfe von Glyzerintropfen statt, da sie meist mit dem Mikroskope leicht erkennbar sind. Beim Untersuchen der mit dem Mikroskope schwer wahrnehmbaren Keime, wovon ich im zweiten

Teile meiner Arbeit spreche, bediente ich mich passender Nährböden in Petrischalen. Wegen des großen Umfanges, den die Arbeit bei gleichzeitiger Untersuchung auf Bakterien-, Schimmelpilz-, Hefe- und Algenkeime erhalten hätte, habe ich mich nur mit den Schimmelpilzen und Hefen beschäftigt. Auch war es der gegenwärtigen Verhältnisse halber nicht immer möglich, die für die Bakterien notwendigen Nährböden zu erhalten. Deshalb werden Bakterien und Algen später behandelt werden.

I. Teil.

Methodisches.

Um die in der Luft suspendierten Staubteilchen zu untersuchen, bediente man sich verschiedener Methoden. Unger (56) sammelte mit einem ganz reinen Fischpinsel den Staub ein, der sich zwischen den Doppelfenstern eines unbewohnten Zimmers in der Zeit von Ende Oktober bis April niedergelassen hatte, ein Verfahren, das selbstverständlich nicht einwandfrei ist. Dieser so gesammelte Staub wurde dann mikroskopisch untersucht.

Im Jahre 1860 veröffentlichte Pasteur (42) eine Methode mikroskopischer Luftuntersuchung. Diese beruht auf der filtrierenden Wirkung der Schießbaumwolle. Es wurde eine große Menge Luft durch dieselbe gesaugt, hierauf die Schießbaumwolle in einem Gemisch von Alkohol und Äther aufgelöst und der Rückstand schließlich mikroskopisch geprüft.

Zur selben Zeit konstruierte Pouchet (46) ein Aëroskop, welches aber keineswegs für Luftuntersuchungen sehr geeignet ist. Durch einen Trichter wird in eine Glastrommel Luft eingesaugt, welche an einem unmittelbar unter der Trichteröffnung liegenden, mit Glyzerin benetzten Glasplättchen vorbeistreichen muß. Dabei soll sie ihre suspendierten Staubteilchen an die klebrige Flüssigkeit abgeben.

Dieses Aëroskop wurde später von Miquel (33) angeblich verbessert, doch, wie Petri (45, p. 9) mit Recht bemerkt, eigentlich verschlechtert.

Im Jahre 1890 hat John Aitken (1) eine neue Methode angegeben, um die Staubteilchen der Luft quantitativ zu bestimmen. Sie beruht auf der von ihm gefundenen Eigenschaft des Wasserdampfes, sich um feste Stäubchen zu kondensieren. Wird nun die zu untersuchende Luft in einem Behälter eingeschlossen und der Wasserdampf darinnen künstlich übersättigt, so fällt dieser in Gestalt einzelner Tröpfchen aus, welche auf eine Glasplatte niedersinken, wo sie leicht mit einer Lupe gezählt werden können. Die Zahl der Tröpfchen ist aber gleich der Zahl der in der Luft befindlichen Staubpartikelchen. Gemünd (19) und später Wolodarski (58) fanden nun, daß der gewöhnliche Straßenstaub und Pilzsporen keine Kondensationskerne bilden, also bei dem Aitken'schen Apparat nicht mitgezählt werden können.

Eine andere, aber durchaus nicht genaue quantitative Staubuntersuchung beruht auf Gewichtsbestimmungen. Es werden größere Mengen von Luft durch Baumwolle oder Wasser hindurchgesaugt, wobei die Staubteilchen zurückbleiben. Hierauf wird die Gewichtszunahme dieser Filter festgestellt. Es ist aber klar, daß das spezifische Gewicht des Staubes nicht immer gleich ist, so daß eine mit mineralischen Bestandteilen geschwängerte, relativ staubarme Luft eine größere Gewichtszunahme ergeben kann als eine staubreiche, aber mit leichten organischen Teilchen erfüllte.

Eine sehr einfache Methode wurde auch von Vörner (40) ausgearbeitet, die auf der Beobachtung beruht, daß auf schwarzen, glatten Flächen der daraufliegende Staub leicht und deutlich mit einer Lupe wahrzunehmen ist. Eine geschwärzte Harzmasse erwies sich am geeignetsten, da auch die Staubpartikelchen fest an ihr haften bleiben.

Doch für qualitative und für grobvergleichende quantitative Bestimmungen größerer, mit dem Mikroskope leicht erkennbarer Teilchen ist die Glyzerintropfenmethode von Molisch (39, p. 60) die einfachste und auch die beste. Es wird ein Tropfen konzentriertes Glyzerin auf einem reinen Objektträger einige Zeit der zu untersuchenden Luft ausgesetzt. Das Glyzerin hat nämlich die angenehme Eigenschaft, nicht zu verdunsten und die angeflogenen Staubteilchen infolge der klebrigen Beschaffenheit festzuhalten. Ich bediente mich daher bei meinen Versuchen, insofern es sich um größere, organisierte Partikelchen handelte, immer dieser Methode, da ich mit dem Miquel'schen Aëroskop keine befriedigenden Resultate erhielt. Auch war es mir mehr um eine qualitative als quantitative Bestimmung der Staubteilchen zu tun.

Versuche und ihre Ergebnisse.

Es wurde von Anfang April 1916 bis Anfang April 1917 die Luft auf Staubteilchen untersucht. Ich ging dabei so vor, daß ich auf einem Objektträger einen Tropfen (im Durchmesser zirka 1 *cm*) sehr reines, konzentriertes Glyzerin gab und ihn auf dem Dache der Universität (Ecke Reichsratsstraße und Universitätsstraße) auslegte. Die Expositionszeit war nach den Witterungsverhältnissen verschieden. Meistens betrug sie 24 Stunden. Am Schlusse derselben wurde der Tropfen mit einem Deckglas bedeckt und mikroskopiert. Das Ergebnis der Versuche war nun folgendes:

Die Luft ist im Winter bedeutend staubärmer als in den wärmeren Jahreszeiten, was schon aus der einfachen Überlegung hervorgeht, daß ja die Pflanzen einen beträchtlichen Teil zum Staubreichtum durch ihre Haare und ihre Pollenkörner beitragen. Auch sind die durch die Feuchtigkeit meist kotigen Straßen und die langandauernde Schneedecke schuld an der Staubarmut der Luft im Winter. Deshalb finden wir im Glyzerintropfen in der kalten Jahreszeit immer nur nebst mineralischen Bestandteilen Ruß, Baumwollhaare, Leinenfasern, Schafwollhaare, Stärke, Teile von Haferspelzen und Stroh. Diese bilden, wie ich sagen möchte, die Grundlage; während des ganzen Jahres treffen wir die oben angeführten Partikelchen an. Was dann noch dazu kommt, ist nach den Jahreszeiten verschieden.

Die in der Luft suspendierten Staubteilchen zerfallen in zwei Gruppen: in anorganische und in organische.

Unter den mineralischen Teilchen fand ich solche aus Quarz, welche scharfkantig und glashell sind und andere aus Feldspat und Glimmer, dessen dunkle Splitter vom Granit des Straßenpflasters, die silberweißen nach Sueß (54, p. 273) vom Wiener Sandstein herrühren sollen. Außerdem kamen öfters sowohl Kristalle von verschiedener Gestalt als auch ungeformte Teile von verschiedener Farbe (rot, dunkelblau, dunkelgrün) vor. Überdies sind nicht selten Partikelchen von Mauerschutt, Mörtel und kleine Teilchen von Ziegelsteinen anzutreffen.

Die organisierten Bestandteile sind teils lebend teils tot.

Von den lebenden sind vor allem die Pilzsporen zu erwähnen. Sehr oft kommen runde, kleine Sporen vor, welche meistens eine dunkelbraune oder grüne Farbe besitzen. Die Konidien von *Cladosporium* sind nicht selten anzutreffen; einige Male waren sogar ganze Myzelstücke von dem erwähnten Pilze vorhanden, wobei ich ihn einmal begleitet von *Dematium pullulans* vorfand. In der Zeit von Ende Mai bis Ende Juli enthielten meine Präparate oft, manchmal in großer Zahl, die Sporen von *Coryneum*. Sie sind länglich, spindelförmig, braun und mehrzellig. Auch den Sporen von *Asterosporium* begegnete ich zweimal. Außerdem zeigten sich noch mehrere Sporen, die ich nicht bestimmen konnte und deren Beschreibung ich daher in folgendem gebe:

1. Stabförmige, braungefärbte, mit 1 bis 3 Scheidewänden (kamen oft vor).
2. Einzellige, elliptische, schwarze, die eine Masse von mehreren Hunderten bildeten.
3. Einzellige, keulenförmige, grünbraun gefärbte.
4. Einzellige, kugelige, braune, mit netziger und stacheliger Skulptur (*Myxomycetes?*).
5. Zweizellige, elliptische, braune (*Diplodia?*).

6. Mauerförmige, braune, von länglichrunder Form.

Bei meinen Luftanalysen fand ich auch hie und da einzellige, kugelige Chlorophyceen (*Pleurococcus?*) vor, einmal mehrere zu einem Haufen vereint.

Doch am häufigsten ist der Blütenstaub (Pollen) der Phanerogamen anzutreffen.

In den der Schneeschmelze folgenden wärmeren Tagen (heuer (1917): nach Mitte März) findet sich bereits der erste Pollen, und zwar von *Corylus* und *Alnus* in der Luft vor. Ersterer ist meistens in größerer Menge anzutreffen als letzterer. Ihnen folgen die Pollen von *Ulmus, Populus* und *Fraxinus*, die beiden letztgenannten oft in großer Zahl. Von Anfang April (vorigen Jahres)[1] an treten die Pollen von *Betula* und *Carpinus* auf, von denen diese fast doppelt so groß sind als jene. Beide kommen bis gegen Ende April vor und darunter der von *Betula* häufig in beträchtlicher Menge. Auch ist bereits anfangs April der Blütenstaub der Koniferen in der Luft vorhanden, und zwar zuerst der der Lärche. Dieser besteht aus großen, mehr oder minder rundlichen, dickwandigen Pollenkörnern, die sich von denen der Föhre, Fichte und Tanne durch das Fehlen von Luftsäcken unterscheiden. Am 13. April (heuer: Mitte Mai) trat der erste Fichtenpollen auf. Anfangs Mai kam auch der Föhrenpollen vor, der bedeutend kleiner als der Fichtenpollen ist. Beide Pollenarten waren um Mitte Mai am zahlreichsten vorhanden und ihre Menge nahm dann allmählich ab, bis sie Anfang Juni gänzlich verschwanden.[2] Auch waren die Pollen der Tanne öfters, doch nur in sehr geringen Mengen, anzutreffen, was darauf zurückzuführen ist, daß der Wald in der Umgebung von Wien, abgesehen vom Laubwald, zumeist aus Föhren und Fichten besteht. Am 10. Mai (heuer: 25.) fand ich den ersten Roggenpollen vor. Er erreichte sein Maximum im Auftreten gegen Ende Mai und nahm hierauf allmählich ab. Von Mitte Juni an findet man ihn nur mehr selten vor. Dieser Pollen, ausgezeichnet durch bedeutende Größe, ovale Form und Stärkereichtum, kommt am häufigsten von den Gramineenpollen vor und ist in unserer Gegend wohl der Haupterreger des Heufiebers (60). Von Anfang Mai bis Ende September enthält die Luft Pollen von Wiesengräsern, am häufigsten zu Beginn des Juni, von Ende August an nur mehr sehr selten. Ende Mai bis Mitte Juni fand ich auch den Pollen der Gerste, Ende Juni, anfangs Juli Weizen- und Haferpollen, alle drei jedoch in geringer Menge. Dies ist darauf zurückzuführen, daß in der Umgebung Wiens hauptsächlich Roggen gebaut wird.[3] Ebenfalls in kleiner Menge waren die Pollen von *Fagus* nach Mitte April, die von *Quercus* und *Iuglans* anfangs Mai und die von *Urtica* anfangs Juli anzutreffen. Außer diesen Pollen begegnete ich noch bei meinen Luftanalysen gegen 20 Pollenarten, die ich leider nicht bestimmen konnte.

Von den toten Teilchen sind vor allem die Pflanzenhaare zu erwähnen, da sie in den wärmeren Jahreszeiten in beträchtlicher Menge vorkommen. Als eines der ersten Haare fand ich das, welches von den jungen Blättern von *Aesculus Hippocastanum* stammt. Es ist fadenförmig, braun und vielfach gewunden. Im Mai erschienen sehr oft die Samenhaare von *Populus*, welche lang, schmal und hyalin sind und deren Grund mit Zähnen an dem Samen befestigt ist. Auch die Haare (*Pappus*) der Früchte von *Taraxacum* fand ich einige Male. Sie sind vielzellig, durchsichtig und besitzen an beiden Seiten dornartige Fortsätze. Vom Wollfilz der *Tussilago*- und *Populus*-Blätter sind auch öfters Haare in der Luft, welche dem Aussehen nach der Baumwolle gleichen, jedoch keine Streifung besitzen. Ebenfalls vom Wollfilz der Blätter stammen die stern- oder astförmig verzweigten Haare der Platane, welche aber auch von ihren kugeligen Früchten herrühren können. Sie verursachen häufig Husten und Augenentzündungen, was schon den alten Römern bekannt war (59). Sie erscheinen anfangs Mai (heuer: gegen Mitte Mai) und sind dann bis gegen Mitte Juni fast alle Tage

---

[1] Die Daten beziehen sich, sofern kein besonderer Vermerk dabei ist, immer auf das vergangene Jahr (1916).

[2] Ich möchte nur erwähnen, daß ich im Juli lange nach der Blütezeit noch hie und da ein Pollenkorn von *Pinus* vorfand.

[3] An dem spärlichen Vorkommen der Pollen von Weizen und Gerste dürfte vielleicht auch der Umstand schuld sein, daß bei diesen Pflanzen öfters Kleistogamie eintritt.

anzutreffen und häufig sogar bis anfangs Oktober vorzufinden. Die Platanenhaare gehören zu den Pflanzenhaaren, welche man noch im Herbste in der Luft findet. Außer den erwähnten gibt es noch eine große Zahl von Pflanzenhaaren, deren Bestimmung nicht möglich war. So sah ich in der Zeit von Mitte April bis Mitte Mai oft einzellige, gerade Haare, die an der Spitze meist U-förmig gebogen waren. Ferner einzellige, gebogene Haare, welche häufig mit Höckern versehen waren, einzellige Zwiebelhaare und andere mehrzellige Trichome. Alle diese treten namentlich im Frühjahre (Mitte April—Mitte Juni) am zahlreichsten auf. Anfangs Oktober verschwinden ebenso wie die Pollen die Haare aus der Luft.

Außer den Pflanzenhaaren sind in der Luft noch eine Menge von Pflanzenteilen vorhanden, wie Stengelstücke, Blattfetzen, Gewebefragmente von Getreidespelzen (sehr oft aus dem Pferdemist stammend), Rindenstücke, Blattepidermen, Gefäßbündel, Nadelholzfetzen, Holzgefäße mit Hoftüpfeln, Ring-, Schrauben- und Netzgefäße, Bastfasern, Parenchymzellen ganze oder nur Teile derselben, losgelöste Schrauben- und Ringverdickungen u. a. m.

Fast in jedem Präparate kam Stärke vor, entweder einzelne Körner oder Klumpen, zusammengesetzt aus Groß- und Kleinkörnern. Merkwürdigerweise fand Ehrenberg (6, 7), was schon Unger (56, p. 231) erwähnt, keine Stärke im Staub von Berlin. Die Stärke stammte meistens von Getreidearten (namentlich Weizen); doch konnte ich auch Kartoffel-, Leguminosen- und Reisstärke nachweisen.

Was die tierischen Teilchen anbelangt, so traf ich öfters ganze Lebewesen an, und zwar: zwei Arten der Holzlaus (*Psocus*), eine Schildlaus, eine Blattlaus (*Aphis*) und einen Blasenfuß (*Thrips*). Auch Teile von Insekten waren nicht selten vorzufinden. Einige Male sah ich in den Präparaten die feinsten Fiederchen, welche von Vogelfedern herrühren. Auch Säugetierhaare kommen nicht selten vor. Der Farbe nach sind sie braun, weiß (Pferdehaare?) oder schwarz.

Teile, welche man immer — ohne Unterschied der Jahreszeit — in der Luft findet, sind Baumwollhaare, Leinenfasern, Schafwollhaare und Seide. Diese stammen von unseren Kleidern her, von denen sie sich durch die beständige Abnützung loslösen. Sie sind entweder farblos oder schwarz, blau, rot, grün, gelb oder violett gefärbt. Bei allen Untersuchungen traf ich Baumwollhaare und Leinenfasern, sehr häufig auch Schafwollhaare, doch nur selten Seide.

Zum Schlusse ist noch ein Bestandteil zu erwähnen, der in jedem Präparate, bald in größeren, bald in kleineren Mengen vorkommt, nämlich Ruß. Dieser stammt teils von der Kohle teils vom Holze und bildet oft runde Kugeln oder Körner; auch läßt er häufig seine Herkunft vom Holze durch die noch deutlich wahrnehmbare Struktur erkennen.

Außer diesen erwähnten Teilchen finden sich aber in der Luft noch zahlreiche, deren genaue Bestimmung unmöglich ist.

II. Teil.

Methodisches.

Es gibt zwei Methoden, um die in der Luft enthaltenen Keime zu ermitteln: die Absetz- oder Sedetions- und die Filtrier- oder Aspirationsmethode. Eine Vereinigung beider ist die Hesse'sche Röhre, ein zirka 60 *cm* langer und 3 bis 4 *cm* weiter Glaszylinder, welcher mit Nährgelatine nach Art der Esmarch'schen Rollröhrchen beschickt ist. Durch diesen wird die zu untersuchende Luft in bestimmter Menge durchgesaugt. Die Keime setzen sich auf der Gelatine ab und wachsen zu Kolonien heran (24). Eine Abart der Aspirationsmethode ist auch das von Giacosa (20) und Ficker (11) angewandte Versuchsverfahren. Sie benützten bei ihren Luftuntersuchungen luftleer gemachte Proberöhren, welche sterilisierte Nährgelatine enthielten. Durch Abbruch des einen zugespitzten Endes der Eprouvetten wurden diese im Momente der Untersuchung mit der zu bestimmenden Luft gefüllt.

Bei der Aspirationsmethode wird eine bestimmte Menge Luft durch ein flüssiges oder festes Filter, welches die Aufgabe hat, die Keime zurückzuhalten, hindurchgesaugt. Als Flüssigkeit wurde entweder eine Nährlösung (4, 32, 35), flüssig gehaltene Nährgelatine, welche später erstarrte (3, 26, 50, 53), oder Wasser, welches dann mit einer Nährlösung, beziehungsweise mit Nährgelatine versetzt wird (37), benützt. Als festes Filter wurden entweder lösliche Stoffe wie Zucker (15), Natriumsulfat (36) oder unlösliche wie Sand (45), Glassand (10), Glaswolle (15) verwendet.

Bei der Sedetionsmethode werden Petrischalen, welche mit Nährgelatine beschickt sind, frei eine gegebene Zeit hindurch der Luft ausgesetzt (48, 49).

Die meisten Forscher, namentlich Petri (45), sind nun der Ansicht, daß die Aspirationsmethode weit genauere Resultate für die quantitative Bestimmung der Luftkeime liefere als die Absetzmethode. Dieses ist wohl nicht zu bestreiten, doch sind die Versuche, welche nach der Sedetionsmethode ausgeführt werden, keineswegs zu verwerfen. Denn auch die Filtrationsmethode ist nicht völlig frei von Fehlern, was schon der Umstand beweist, daß fast jeder Forscher, der sich bei seinen Luftuntersuchungen des Aspirierens bediente, eine »neue Methode« erfand. Selbst in Bezug auf die Schnelligkeit des Aspirierens herrscht keine Einigkeit. Während Pawlowsky (44) für einen langsamen Aspirationszug ist, fordert Petri (45, p. 15) in einem seiner fünf Punkte, denen eine gute Aspirationsmethode genügen muß, möglichst schnelle Entnahme der Luft. Beide Verfahren lassen sich rechtfertigen. Ich selbst bediente mich bei meinen Versuchen der Schalenaussetzmethode, und zwar aus folgenden Gründen:

1. Besitzen wir, wie oben erwähnt, keine ganz einwandfreie Aspirationsmethode.

2. Ist die Filtriermethode umständlich und in belebten und verkehrsreichen Straßen schwer oder überhaupt nicht durchführbar, da, um genaue Resultate zu erlangen, größere Mengen (50 bis 100 *l*) von Luft durchgesaugt werden müssen.

Dagegen ist die Absetzmethode einfach und bequem und es lassen sich daher an verschiedenen Punkten, wie auf dem Dache, auf der Straße, in Parkanlagen, weit vom Laboratorium entfernt, ohne jede Hilfsmittel leicht Untersuchungen ausführen. Diese Methode kann außerdem auch zu vergleichenden quantitativen Bestimmungen herangezogen werden, da die Fehler doch bei allen Versuchen ziemlich gleich sind. Während man bei der Aspirationsmethode ermittelt, wieviel Keime in einem bestimmten Luftvolumen vorhanden sind, erfährt man durch die Absetzmethode, wie viel Keime in einer bestimmten Zeit auf eine bestimmte Fläche auffallen. Ja Kowalewsky (28) empfiehlt geradezu das ruhige Niedersinkenlassen der Keime aus der Luft bei vergleichenden Bestimmungen und zieht es dem Aspirieren vor.

Versuche und ihre Ergebnisse.

Meine Untersuchungen wurden durch ein ganzes Jahr, und zwar von Mitte April 1916 bis Mitte April 1917 ausgeführt. Vorher hatte ich zur Orientierung durch $1^1/_2$ Monate Vorversuche durchgeführt. Für meine sämtlichen Untersuchungen diente mir, wie schon erwähnt, die Aussetzung von sogenannten Petrischalen, die mit Nährgelatine beschickt waren. Der Durchmesser dieser Schalen ist zirka 10 *cm*, so daß die Fläche ungefähr 70 cm^2 betrug.

Meistens verwendete ich bei einem Versuche zu gleicher Zeit zwei Nährböden.

Der erste, Nährboden *A*, bestand aus:

1000 cm^3 Bierwürze,
100—150 *gr* Gelatine.[1]

---

[1] Gelatine erwies sich bei den Vorversuchen für Schimmelpilze bei weitem geeigneter als Agar-Agar. Vgl. auch Bitting A. W. (2).

Der zweite, Nährboden *B*, hatte folgende Zusammensetzung, die der von Saito (49, p. 6) ähnlich war:

Pepton	1 *gr*	Leitungswasser	90 cm^3
Rohrzucker	5 *gr*	Liebig's Fleischextrakt . . .	Spur
Konzentr. Zwiebeldekokt . .	10 cm^3	Gelatine	10—15 *gr*.

Diese beiden Nährböden waren elektiv für Schimmelpilze und Hefen, da auf ersterem höchst selten, auf letzterem nur wenige Bakterienkolonien aufkamen. Dieser erwies sich stets auch als »empfindlicher«, das heißt es kamen meistens mehr Kolonien auf. Doch war auf beiden eine üppige Entwicklung zu konstatieren.

Nach der Aussetzung wurden die Schalen unter einer Glasglocke bei Zimmertemperatur aufbewahrt und die entwickelten Kolonien gewöhnlich nach 1 Woche, wenn es aber die Umstände erforderten, auch früher oder später, abgezählt und bestimmt.

Die Versuche wurden an drei Orten, die durch Lage und Höhe verschieden waren, aber immer an derselben Stelle ausgeführt, und zwar:

1. Auf dem Dache der Universität, Ecke Reichsrats- und Universitätsstraße.

2. Im Türkenschanzparke (18. Bezirk) an einer geschützten Stelle, einen halben Meter über dem Boden.

3. Auf der Alserstraße, gegenüber dem Allgemeinen Krankenhause, 1 Meter über dem Straßenpflaster.

Die Versuche wurden auch meistens zur selben Zeit gemacht, und zwar auf dem Dache zwischen 12 und 1^h, im Türkenschanzparke zwischen 2 und 3^h und in der Alserstraße zwischen 3 und 4^h. Zwischen dem Versuche auf dem Dache und dem auf der Straße war meistens ein Intervall von höchstens 3 Stunden, da ein gleichzeitiges Aussetzen an den drei verschiedenen Punkten auf Schwierigkeiten stieß.

Die Ergebnisse meiner Versuche habe ich in vier Tabellen, welche sich im Anhange meiner Arbeit befinden, zusammengestellt. Ich möchte zur Erklärung derselben folgendes sagen:

In der Kolonne 1 bezieht sich die erste Nummer auf den Nährboden *A*, die zweite auf den Nährboden *B*. Die Angaben der Rubrik 7 und 8 sind entnommen den monatlichen Mitteilungen der k. k. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik im Anzeiger der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien. In Kolonne 7 bezeichnet der Buchstabe die Windrichtung, während die Ziffer die Stärke nach der 12stufigen Skala angibt. Die Angaben von 7 und 8 beziehen sich auf die Ablesungen um 2^h (immer Ortszeit), also meistens in der Mitte meiner Versuchszeit. Die relative Zahl der Kolonnen 15, 16, 17, 21, 22, 23 und 25 gibt die Berechnung auf 10 Minuten an, um Vergleiche zu erleichtern, ein Vorgang, der aber nicht ganz einwandfrei ist. In Rubrik 24 und 25 ist das Mittel, berechnet aus den Ergebnissen auf den Nährböden *A* und *B*, angegeben.

Aus diesen Tabellen geht deutlich hervor, daß die Zahl der Schimmelpilz- und Hefekeime vom Ort und von den meteorologischen Verhältnissen sehr abhängig ist. Was den örtlichen Einfluß betrifft, so ist die Luft im T. [1] am »reinsten«, während die Straßenluft die meisten Keime enthält.

[1] In der Arbeit werden folgende Abkürzungen gebraucht:

A. Z. = Absolute Zahl (gefundene Zahl).
R. Z. = Relative Zahl (berechnete Zahl).
P. = Schimmelpilze.
H. = Hefe.
K. = Keime, Kolonie.
G. K. = Gesamtkolonie (Hefe und Schimmelpilze).
D. = Dach.
St. = Straße (Alserstraße).
T. = Türkenschanzpark.

Auf dem Dache sind bedeutend weniger Keime anzutreffen, so daß mit der Höhe die Keimzahl rasch abnimmt. Während ich im T. nach einer Expositionszeit von 10 Minuten durchschnittlich 14 Keime[1] auf einer Fläche von zirka 70 cm^2 vorfand, betrug die Zahl derselben auf dem D. 27 und in St. sogar 104, so daß sich T. : D. : St. verhält wie 1:2:7. Doch ist dieses Verhältnis für Schimmelpilz- und Hefekeime verschieden. Während das Verhältnis für Schimmelpilzkeime T. : D. : St. = 1 : $1^1/_2$: $2^1/_2$ ist, ist es für Hefekeime T. : D. : St. = 1 : $3^1/_2$: $30^1/_2$. Daraus geht deutlich hervor, daß die Straßenluft sehr reich an Hefekeimen ist (durchschnittlich 73·5 K.), die Gartenluft hingegen arm (2·4 K. durchschnittlich). Dagegen ist diese relativ reich an Schimmelpilzkeimen, die Straßenluft im Vergleich zu ihrem bedeutenden Keimreichtum arm, eine Erscheinung, die ich noch nirgends erwähnt fand.

Von den meteorologischen Faktoren haben namentlich Windstärke und Feuchtigkeit einen großen Einfluß auf die Zahl der Keime. Bei steigender Windstärke oder bei zunehmender Feuchtigkeit wächst die Zahl der Keime wesentlich. Dafür einige Beispiele:

Beispiel:

	Versuchsnummer	Windstärke	Feuchtigkeit	Keimzahl
1	5	3	51	13
	11	2	34	6
	17	1	72	10
2	22	2	56	17
	28	4	55	27
3	67	1	55	41
	73	1	44	15

Auch die Windrichtung hat auf die Zahl der Keime einen Einfluß. Doch ist dies nicht immer so leicht zu ersehen, namentlich auf der Straße, wo die Windrichtung durch die Häuser vielfach geändert wird. Im Türkenschanzpark enthielt die Luft bei sonst gleichen Verhältnissen bei SE- und E-Winden mehr Keime. Das ist dadurch zu erklären, daß ja diese Winde aus der Stadt kamen und die Aussetzungsstelle gegen sie weniger geschützt war. Das mag auch der Grund sein, daß im Dezember im T. die Keimzahl zunimmt gegenüber November, da im ersteren Monat die SE, im letzteren die NW-Winde vorherrschten.

Die Temperatur wirkt ebenfalls auf die Zahl der Keime ein. Für Pilze gilt allgemein der Satz: Je wärmer, desto mehr Schimmelpilzkeime. Deshalb ist im Juni oder Juli das Maximum. Ich selbst fand dieses im Juni und obwohl es im Juli feuchter und wärmer war, fiel die Keimzahl aus mir unbekannten Gründen. Für Hefen gilt der oben angeführte Satz nicht und ich fand, daß das Maximum im April liegt. In der Straße konnte ich noch ein zweites, kleineres Maximum im November und Dezember beobachten.

Die Wirkungen aller dieser Faktoren (Feuchtigkeit, Windstärke u. s. w.) sind aber meistens deshalb nicht so deutlich zu ersehen, da sie doch zusammen in verschiedener Weise einwirken. Dazu kommen noch andere Einflüsse, wie Verkehr, Bespritzung der Straße u. a. War zum Beispiel der Verkehr ein lebhafter während der Expositionszeit, so fiel natürlich die Keimzahl größer aus.

Die während des ganzen Jahres in der Luft gefundenen Keime waren folgende: *Saccharomyces, Penicillium* sp., *Cladosporium* sp. I, *Cladosporium* sp. II, *Cladosporium* sp. III, *Aspergillus glaucus, Aspergillus niger, Aspergillus candidus, Aspergillus* sp., *Sachsia* sp. (?), *Gemmophora purpurascens, Alternaria* sp., *Botrytis* sp., *Torula* sp. *Pers., Verticillium* sp., *Penicillium luteum, Mucor racemosus, Rhizopus nigricans, Cephalothecium roseum, Oidium* sp., Pyknidenbildner und sterile Myzelien.

[1] Vgl. die Tabelle im Anhang.

Dazu kommt noch eine Anzahl nicht bestimmter Pilze, deren Bestimmung entweder nicht möglich war oder deren Namen ich nicht mit Gewißheit angeben kann. Von diesen ließen sich mit Bestimmtheit 16 verschiedene Arten unterscheiden, von denen eine *Oospora,* eine *Dematium pullulans* und eine *Verticillium* sehr ähnlich war.

Was die Saccharomyceten betrifft, so waren die Kolonien entweder weiß — was am häufigsten der Fall war — oder lebhaft gefärbt. Von den 1797 H. K., welche im Laufe des ganzen Jahres aufgegangen sind, waren:

weiß 1581
gefärbt . . . . . 216.

Die weißen Kolonien waren entweder matt oder glänzend und die Oberfläche in den meisten Fällen glatt, selten wellig. Oft waren sie auch verschleimt. Gelatine wurde in vielen Fällen verflüssigt. Die Zellen selbst waren nach dem *Cerevisiae-, Ellipsoideus-* und *Pastorianus*-Typus, von denen ersterer vorherrscht, letzterer seltener war. Eines möchte ich noch erwähnen, nämlich, daß ich heuer im März viele Hefen antraf, die sich durch einen sehr großen Fettgehalt auszeichneten. Die Zelle war oft fast ganz von einer großen Fettkugel erfüllt. — Die gefärbten Kolonien waren entweder licht- oder dunkelrosa, hellrot oder rotbraun, einige dieser Kolonien verflüssigten die Gelatine.

Unter den Pilzkeimen kam in der Luft am häufigsten *Cladosporium* vor, welches in drei verschiedenen, makroskopisch leicht erkenntlichen Arten auftrat. Die erste, *Cladosporium* sp. I, bildet eine *Penicillium* ähnliche Kolonie, die sich aber durch die geringere Größe und durch die olivgrüne Farbe deutlich von *Penicillium* unterscheidet. Die Zellen der Hyphen sind lang und braun; die Konodien, welche elliptische oder längliche Form besitzen, haben öfters eine Scheidewand. Spinatgrün ist die Kolonie von *Cladosporium* sp. II. Auch sind die grünen Zellen der Hyphen kurz oder länglich gebogen. Die Konodien unterscheiden sich von der I. und II. Art durch bedeutendere Größe und sind elliptisch und rauh. Die häufigste Art ist aber die dritte, leicht erkenntlich an der graugrünen Farbe der Kolonie, welche behaart erscheint. Die Zellen der Hyphen sind lang, braun gefärbt, manche auch hyalin. Die Konidien haben runde oder längliche Form und besitzen öfters eine Scheidewand und eine rauhe Oberfläche.

In der Häufigkeit des Auftretens kommt dem *Cladosporium* am nächsten *Penicillium.* Es war dies immer eine grüne Art von *Penicillium,* welche sonst meist schlechtweg als »*Penicillium glaucum*« bezeichnet wird. In Anbetracht der vielen grünen Spezien der Gattung *Penicillium,* welche in letzter Zeit festgestellt wurden (63), habe ich es unterlassen, die Art anzugeben.

Von den *Aspergillus*-Arten möchte ich nur erwähnen, daß *Aspergillus niger* zweimal von *Penicillium luteum* begleitet war (62, p. 105) und durch die schwarzgelbe Färbung sofort auffiel. *Aspergillus* sp. bildet eine Kolonie, welche in der Mitte grün ist und einen breiten, weißen Rand besitzt. Leider kann ich die Art nicht mit Bestimmtheit angeben.

In meinen Luftanalysen traf ich öfters einen Pilz an, den ich nach Engler-Prantl als *Sachsia* (?) bestimmt habe und der in Nordamerika aus der Luft kultiviert wurde. Er kommt namentlich in den wärmeren Jahreszeiten häufig vor, fehlt im Winter aber ganz.

Ein Pilz, welcher infolge seiner schönen roten Farbe sehr auffällt, ist *Gemmophora purpurascens* Dieser kommt nach Molisch und Schkorbatow (61, p. 474, 475) häufig in der Luft vor und ich selbst begegnete ihm oft, namentlich in den wärmeren Monaten, während er in den kälteren (Dezember—März) nicht gefunden wurde. »Der Pilz bildet unter Purpurrotfärbung des Substrates ein zartes Myzelium aus, jedoch ohne Anzeichen irgend welcher Fruktifikationsart« (61, p. 475).

Alternaria und *Botrytis* traf ich auch nur immer in den wärmeren Jahreszeiten an, so daß im Winter meistens nur *Penicillium, Cladosporium* und sterile Myzelien zu finden waren, während im Sommer das Kulturbild mehr Abwechslung bietet.

Von den Mucorineen begegnete mir in meinen Luftanalysen *Mucor racemosus* und *Rhizopus nigricans*, und zwar nur einmal.[1] Sie sind also höchst selten in der Luft anwesend.

Häufig kam ein Pilz mit rotbraunen Pykniden auf, welchen ich nach Saito (49, p. 45) als Pyknidenbildner bezeichne.

Fast in jeder Schale waren aber ein oder mehrere sterile Myzelien, welche keine Fruktifikation zeigten, vorhanden. Diese waren meistens weiß, seltener braun oder grünlich gefärbt und bildeten kleinere oder größere, fast die ganze Schale überwuchernde Kolonien.

Um die Häufigkeit im Auftreten der einzelnen Pilze ersichtlich zu machen, möge folgende Zusammenstellung dienen.

Von den 1878 Schimmelpilzkeimen, welche während des ganzen Jahres in meinen Kulturen auffielen, waren Keime von

Penicillium sp.		416
Cladosporium sp. I	66	748
» » II	14	
» » III	668	
Aspergillus glaucus	53	94
» *niger*	3	
» *candidus*	11	
» sp.	27	
Sachsia sp.		112
Gemmophora purpurascens		28
Alternaria sp.		20
Botrytis sp.		14
Torula sp.		7
Verticillium sp.		4
Penicillium luteum		4
Mucor racemosus		1
Rhizopus nigricans		1
Cephalotecium roseum		1
Oidium sp.		1
Pyknidenbildner		43
Nicht bestimmte Pilze		63
Sterile Mycelien		321

Zum Schlusse möchte ich noch folgendes erwähnen: Obwohl ein Vergleich der Ergebnisse verschiedener Arbeiten infolge der ungleichen »Empfindlichkeit« der angewandten Nährböden nicht möglich ist (28), so möchte ich doch meine Resultate enen Saito's gegenüberstellen. Dabei fällt sofort die große Differenz in den gefundenen Keimzahlen auf. Während ich als rößte Schimmelpilzkeimzahl bei starkem Wind in drei Minuten auf einer Fläche von ungefähr 70 cm^2 53 P. (Nr. 61) erhielt, ekam Saito (49, p. 30) bei Windstille (!) in 10 Sekunden (!) 632 Kolonien auf einer Fläche von ungefähr 36 cm^2. Berechnet man meine gefundene Keimzahl und die Saito's auf gleiche Fläche und Zeitdauer (60 cm^2, 10 Minuten), so ergeben sich 151 gegenüber 63.200, also ungefähr 418 mal mehr Pilzkeime. Sollte die Wiener Luft um soviel reiner sein als die von Tokio oder

[1] Bei meinen Vorversuchen im März 1916 traf ich zweimal *Mucor racemosus* und einmal *Rhizopus nigricans*.

ist der von Saito angewandte Nährboden um soviel empfindlicher gewesen? Mein Nährboden *B* war dem Saito's, soweit es ging, ähnlich, Auch zeigten die auf den.Nährböden aufgegangenen Keime üppiges Wachstum. Doch folgendes Bedenken scheint mir sehr berechtigt zu sein. Saito hat immer nach 1 Woche die Pilzkolonien gezählt. Da ihre Entwicklung bei einer sehr guten Temperatur (18°) vor sich ging, so mußten sie innerhalb dieser Zeit zu einer Kolonie mit einem Durchmesser von 0·5 bis 1 *cm* herangewachsen sein. Nun hat Saito bei seinen Versuchen Petrischalen mit einem Flächenraum von 6 cm^2 (!), also mit einem Durchmesser von ungefähr 3 *cm* (!) verwendet. Sechs solcher Schalen wurden ausgesetzt, was eine Fläche von 36 cm^2 ergibt. Nun sollte Saito imstande gewesen sein, auf dieser kleinen Fläche nach einer Woche die Pilzkolonien abzuzählen und sogar genau zu bestimmen! Ich glaube jedoch, daß das Kulturbild ein Chaos von incinandergewachsenen Pilzen gewesen sein muß, bei dem eine genaue Abzählung und Bestimmung nicht mehr möglich war.[1] Ferner fiel mir in der Arbeit Saito s auf, daß er in der Tabelle *A* auf p. 30 in Versuch Nr. 18 angeblich 300 Pilzkolonien gefunden hat. In Tabelle *B* auf p. 31 werden ihre Namen angeführt. Zählt man sie zusammen, so ergeben sich nur 81! Weiters gibt er in Tabelle *A* auf p. 30 in Versuch Nr. 73 80 Pilzkolonien an. Nach der Tabelle *B* aber 128! Und so könnte ich noch mehrere solche mir unerklärliche Widersprüche aufzählen.

Es erübrigt mir nur noch die angenehme Pflicht, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Hofrat Professor Dr. H. Molisch, für die Zuweisung des Themas und für mannigfache Unterstützungen und Anregungen meinen aufrichtigsten Dank auszusprechen; desgleichen danke ich den Herren Hofrat von Höhnel, Professor Schiffner und Professor Zikes für die Hilfe beim Bestimmen der Pilze und Herrn Professor Werner für die Bestimmung der Insekten.

---

[1] Ich möchte nur erwähnen, daß Hefekolonien bedeutend kleiner sind, also auf meiner Fläche leicht 100 abgezählt werden können (Nr. 190). In Versuch 61 bereitete schon damals die genaue Abzählung der Schimmelpilzkolonien Schwierigkeiten. Manche Kolonien, zum Beispiel von *Botrytis*, überwuchern in kurzer Zeit überhaupt die ganze Petrischale.

Literatur.

1. Aitken J., Proceedings of the royal society of Edinburgh, 16. Bd., 1889, p. 135.

2. Bitting A. W., The number of microorganismus in air, water and milk as determining by their growth upon different media. Proc. Indiana Ac. of Sc., 1897. Ref. in Just's Bot. Jahresber., 26. Jahrg., I, p. 66.

3. Bonnier G., Matruchot L. et Combes R.: Sur la dissémination des germes de champignons dans l'atmosphère, Société nationale d'agriculture de France, Paris 1911. Extrait du bulletin des séances, n° de Mars.

4. Cohn F., Untersuchungen über Bakterien. II. 2. Untersuchung der Luft auf Bakterien. Beiträge z. Biologie d. Pfl., 1. Bd., 3. Heft, p. 147.

5. Cunningham D., Microscopical examinations of air. Calcutta 1873.

6. Ehrenberg Chr. G., Mitteilungen neuer Beobachtungen über das gewöhnlich in der Atmosphäre unsichtbar getragene formenreiche Leben. Bericht über d. z. Bekanntmachung geeigneten Verhandl. d. kgl. preuß. Akad. d. Wiss. zu Berlin 1848, p. 325.

7. — Fortgesetzte Beobachtungen über jetzt herrschende atmosphärische mikroskopische Verhältnisse. Ebendort, p. 370.

8. — Übersicht der seit 1847 fortgesetzten Untersuchungen über das von der Atmosphäre unsichtbar getragene reiche organische Leben. Physikalische Abhandl. d. kgl. Akad. d. Wiss. zu Berlin, 1871, p. 1.

9. Emmerich, Über die Bestimmung der entwicklungsfähigen Luftpilze. Archiv für Hygiene, 1883, p. 69.

10. Ficker M., Zur Methodik der bakteriologischen Luftuntersuchung. Zeitschr. f. Hygiene, 22. Bd., 1896, p. 33.

11. — Eine neue Methode der bakteriologischen Luftuntersuchung. Archiv f. Hygiene, 69. Bd., 1909, p. 49.

12. Flemming, Über die Arten und die Verbreitung der lebensfähigen Mikroorganismen in der Atmosphäre. Zeitschr. f. Hygiene, 53. Bd., 1907, p. 345.

13. Fodor D., Hygienische Untersuchungen über Luft, Boden und Wasser. 1881.

14. Frankland P. F., The distribution of microorganisms in air. Proceeding of the Royal Society, 40. Bd., 1886, p. 509.

15. — A new method for the quantitative estimation of the microorganisms present in the atmosphere. Philosophical transactions of the Royal Society of London, 178, Bd., 1887, p. 113.

16. — Methode der bakteriologischen Luftuntersuchung. Zeitschr. f. Hygiene, 3. Bd., 1888, p. 287.

17. Free E. E., The movement of soil material by the wind. U. S. Department of agriculture, bureau of soils-bulletin Nr. 68, Washington 1911.

18. Friese W., Der Staub- und Rußgehalt der Dresdner Luft. Vortrag. Sitzungsber. u. Abhandl. d. naturw. Gesellschaft »Isis« in Dresden, 1909, p. 8.

19. Gemünd, Großstädtische Luftverunreinigung und das Großstadtklima. Umschau, 13. Jahrg., 1909, p. 277. Ferner: Deutsche Vierteljahrsschrift f. öffentl. Gesundheitspflege, 40. Bd., 1908, p. 407.

20. Giacosa P., Versuche über die in hohen Luftschichten enthaltenen Keimsporen niederer Organismen. Biolog. Zentralbl., 3. Bd., 1883/84, p. 730.

21. Hahn M., Die Bestimmung und meteorologische Verwertung der Keimzahl in den höheren Luftschichten. Zentralbl. f. Bakt., I. Abt., 51. Bd., 1909, p. 97.

22. Hansen E., Untersuchungen der Organismen, die sich zu verschiedenen Jahreszeiten in der Luft zu Carlsberg und Umgebung vorfinden und in Bierwürze sich entwickeln können. Meddelelser fra Carlsberg-Laborat., Copenhagen, 1879. Ref. in Bot. Zentralbl., I. p. 417.

23. Héricourt, Les germes atmosphériques de bacilles courbes. Révue d'hygiène, 7. Bd., p. 20.

24. Hesse W., Über quantitative Bestimmung der in der Luft enthaltenen Mikroorganismen. Mitteil. aus d. Kaiserlichen Gesundheitsamte, 2. Bd., 1884, p. 182.

25. — Bemerkungen zur quantitativen Bestimmung der Mikroorganismen in der Luft. Zeitschr. f. Hygiene, 4. Bd., 1888, p. 19.

26. Hueppe, Die Methoden der Bakterienforschung. 1886.

27. Koch R., Mitteilungen aus dem Kaiserlichen Gesundheitsamte, 1881, 1. Bd.

28. Kowalewsky K. P., Die Methoden der quantitativen Bestimmung niederer Organismen in der Luft. Dissertation St. Petersburg 1885 (russisch). Ref. in Just's Bot. Jahresber., 16. Jahrg., 1888, I. p. 230.

29. Kühl H., Die Bestimmung der Keimzahl in der Luft. Pharmaz. Zeitg., 1909, Nr. 31, p. 308.

30. Mac Fadyen A., Bacteria and dust in air. Transact. of prevent. medec. I. ser., London 1897, p. 142.

31. Maddox, On an apparatus for collecting atmospheric particles. Monthly microscopical journal, t. III, p. 286.

32. Miflet und Cohn, Untersuchungen über die in der Luft suspendierten Bakterien. Beitr. z. Biologie d. Pfl., 3. Bd. 1883, p. 119.

33. Miquel P., Nouvelles recherches sur les poussières organisées de l'atmosphère. Annuaire de Montsouris 1880.

34. — Recherches microscopiques sur les bactéries de l'air et du sol. Extr. de l'annuaire de Montsouris pour 1882.

35. — Les organismes vivants de l'atmosphère. Paris 1883.

36. — De l'analyse microscopique de l'air an moyen de filtres sohibles. Ann. de Micrographie, 1. Bd., 1888, Nr. 4, p. 146.

37. — Die Mikroorganismen der Luft (Jahresber. d. Observatoriums in Montsouris 1886). Deutsch v. E. Emmerich. München 1889.

38. Molisch H., Aëroplankton. Vortrag. Mitteil. d. naturw. Vereines der Universität Wien, 1912, p. 8.

39. — Biologie des atmosphärischen Staubes (Aëroplankton). Vortrag. Schriften d. Vereines z. Verbreitung naturwiss. Kenntnisse in Wien, 57. Bd., 1917, p. 51.

40. N. N., Die Bestimmung des Luftstaubes. Prometheus, 16. Jahrg., 1904, p. 173.

41. Nestler A., Städtische Anlagen und Stadtluft. Vortrag. Sammlung gemeinnütziger Vorträge des deutschen Vereines zur Verbreitung gemeinnütziger Kenntnisse in Prag, 1905, p. 153.

42. Pasteur L., De l'origine desferments. Nouvelles expériences relatives aux générations dites spontanées. Compt. rend. de l'Akad. des Sc., 50. Bd., 1860.

43. — Mémoire sur les corpuscules organisés qui existent en suspension dans l'atmosphère. Annales de chimie et de physique, t. 64, 1862.

44. Pawlowsky A. D., Ein neuer Apparat zur quantitativen Bestimmung der Bakterien in der Luft. Nr. 14, p. 274 bis 277 der »Russischen Medizin«. St. Petersburg, 1885 (russisch). Ref. in Just's Bot. Jahresber., 16. Jahrg., I, p. 230.

45. Petri R. J., Eine neue Methode Bakterien und Pilzsporen in der Luft nachzuweisen und zu zählen. Zeitschrift für Hygiene, 3. Bd., 1888, p. 1.

46. Pouchet, Compt. rend. de l'Akad des Sc., 50. t., 1860.

47. R. P., Staubuntersuchungen in Berlin. Himmel und Erde, 18. Jahrg., 1906, p. 279.

48. Rostrup O., Nogle Undersögelser over Luftens Ind hold af Swampekim. Dansk. botan. Tidsskr., 29. Bd., 1908, p. 32. Ref. im Zentralbl. f. Bakt., II. Abt., 26. Bd., 1910, p. 452.

49. Saito K., Untersuchungen über die atmosphärischen Pilzkeime (I. Mitteil.). Journ. of the college of science university Tokyo, Japan, 1904.

50. v. Sehlen, Fortschritte der Medizin. 1884. Nr. 18.

51. Selander N. E., Luftundersökningar vid Vaxholms fästning. Sv. Vet. Ak. Bih., 13. Bd., 1888, Nr. 9, p. 38.

52. Shibuya S., Über das Vorkommen der Mikroorganismen in der Luft. Mitteil. d. mediz. Gesellschaft z. Tokio, 16. Bd., 3. Heft (japanisch).

53. Straus et Wurtz, Sur un procédé perfectionné d'analyse bactériologique de l'air. Annalen de l'institut Pasteur. 1888, Nr. 8, p. 426.

54. Suess E., Über den Staub Wiens und den sogenannten Wiener Sandstein. Vortrag. Schriften d. Vereines z. Verbreitung naturw. Kenntnisse in Wien, 4. Bd., 1865, p. 271.

55. Tyndall, The medical times and gazette, 1870, 1. Bd., p. 130.

56. Unger Fr., Mikroskopische Untersuchung des atmosphärischen Staubes von Gratz. Sitzungsberichte der kais. Akad. d. Wiss. in Wien, math. naturw. Kl., 1849, 3. Bd., p. 230.

57. Welz F., Bakteriologische Untersuchung der Luft in Freiburg i. B. und Umgebung. Zeitschr. f. Hygiene, 11. Bd., 1892, p. 121.

58. Wolodarski G., Untersuchungen über die feinsten Luftstäubchen. Zeitschr. f. Hygiene, 75. Bd., 1913, p. 383.

59. Drude O., Der Haarfilz der Platanenblätter und seine vermutete Gesundheitsschädlichkeit. Gartenflora, 38. Jahrg., 1889, p. 393.

60. Dunbar, Zur Ursache und spezifischen Heilung des Heufiebers. München und Berlin, 1903. Aus d. staatl. hygien. Institut in Hamburg.

61. Schkorbatow L., Zur Morphologie und Farbstoffbildung bei einem neuen Hyphomyzeten (*Gemmophora purpurascens* nov. gen. et spec.). Berichte d. Deutsch. Bot. Gesellsch., 30. Bd., 1912, p. 474.

62. Wehmer C., Die Pilzgattung *Aspergillus* in morphologischer, physiologischer und systematischer Beziehung unter besonderer Berücksichtigung der mitteleuropäischen Spezies. Mémoires de la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève 1901.

63. Westling R., Über die grünen Spezies der Gattung *Penicillium*. Dissertation, Uppsala 1911.

ANHANG

Dach der

1 Versuchs-nummer	2 Monat	3 Tag	4 Stunde	5 Tempe-ratur in C°	6 Wind	7 Windrichtung und Stärke	8 Feuch-tigkeit	9 Wetter vor und während des Aussetzens der Schalen	10 Wetter tags vorher	11 Aus-setz-zeit in Min.
1, 4	April	14	12^{15}	11·5	stark	W 3	51	ganz bedeckt	bewölkt mit ztw. Sonne und Regen	5
7, 10		19	11^{35}	14	mäßig	W 2	34	bewölkt mit Sonnenschein	bewölkt, Regen	5
13, 16		26	12^{15}	18·5	fast still	N 1	72	bewölkt	bewölkt, Regen	5
19, 22	Mai	2	12^{5}	22	fast still	SE 2	56	schön	schön	5
25, 28		5	12^{10}	22	stark	S 4	55	bewölkt, Sonnenschein	schön	5
31, —		10	12	20	mäßig	SE 2	44	heiter	heiter	5
37, 40		12	12^{10}	15	mäßig	N 2	77	bewölkt m. Sonnenschein	bewölkt m. Sonnenschein	5
43, 44		19	11^{55}	17	stark	NNW 4	30	schön	schön	5
45, 46		26	12^{25}	25	fast still	E 1	54	heiter	schön	5
49, 52	Juni	2	11^{45}	24	schwach	SE 2	56	schön	bewölkt	5
—, 55		9	12^{10}	26·5	fast still	SSE 2	51	schön	schön	5
58, 61		16	12^{10}	17	stark	WNW 2	68	bewölkt m. Sonnenschein	Regen m. tlw. Sonnenschein	3
60, 63		21	12^{15}	19·5	schwach	W 1	55	bewölkt	ztw. Sonne, abds. Regen	5
68, 71		30	12^{10}	23	fast still	WNW 1	44	bewölkt m. Sonnenschein	schön, abds. Regen	5
74, 77	Juli	7	12^{15}	27	fast still	NNW 1	55	schön	heiter	5
78, —		12	12^{15}	20	mäßig	NW 3	60	bewölkt m. Sonnenschein, bis 10^{h} Regen	nachts Regen	5
81, 84		14	12^{25}	26·5	fast still	N 1	67	bewölkt	schön	5
87, 90	August	25	12	23·5	mäßig	WNW 2	39	heiter	meist heiter	5
—, 93		29	11^{30}	25	fast still	ESE 1	58	schön	ztw. Regen	5
96, 99	September	1	12^{5}	17	stark	WNW 3	64	bewölkt	Regen	5
102, 103		6	12^{5}	17	fast still	N 1	74	bewölkt, bis 11^{h} Regen	ztw. Regen	5
104, 107		13	12^{25}	19	schwach	WNW 4	48	heiter	ztw. Regen	5
110, 111		26	12^{25}	16	still	SE 2	68	schön	heiter	5
114, 117		29	12^{10}	20·5	stark	S 3	68	bewölkt	bewölkt	3

A

Universität.

Nährboden *A*						Nährboden *B*						Mittel	
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Zahl d. ges. Kol.	Zahl d. Pilz Kol.	Zahl d. Hefe Kol.	R. Z. d. ges. Kol.	R. Z. d. Pilz Kol.	R. Z. d. Hefe Kol.	Zahl d. ges. Kol.	Zahl d. Pilz Kol.	Zahl d. Hefe Kol.	R. Z. d. ges. Kol.	R. Z. d. Pilz Kol.	R. Z. d. Hefe Kol.	A. Z.	R. Z.
15	5	10	30	10	20	35	7	28	70	14	56	25	50
7	4	3	14	8	6	14	3	11	28	6	22	10	21
8	8	0	16	16	0	14	10	4	28	20	8	11	22
1	1	0	2	2	0	17	17	0	34	34	0	9	18
19	18	1	38	36	2	27	18	9	54	36	18	23	46
5	4	1	10	8	2	—	—	—	—	—	—	—	—
13	5	8	26	10	16	19	11	8	38	22	16	16	32
13	12	1	26	24	2	19	12	7	38	24	14	16	32
15	15	0	30	30	0	24	23	1	48	46	2	20	39
37	36	1	74	72	2	54	53	1	108	106	2	45	91
—	—	—	—	—	—	36	36	0	72	72	0	—	—
56	41	15	186	136	50	76	53	23	253	177	76	66	220
13	12	1	26	24	2	13	12	1	26	24	2	13	26
6	4	2	12	8	4	12	11	1	24	22	2	9	18
4	3	1	8	6	2	5	5	0	10	10	0	5	9
10	10	0	20	20	0	—	—	—	—	—	—	—	—
17	15	2	34	30	4	11	10	1	22	20	2	14	28
17	17	0	34	34	0	25	17	8	50	34	16	21	42
—	—	—	—	—	—	6	5	1	12	10	2	—	—
16	16	0	32	32	0	19	15	4	38	30	8	17	35
3	2	1	6	4	2	4	3	1	8	6	2	3	7
4	4	0	8	8	0	10	4	6	20	8	12	7	14
5	3	2	10	6	4	3	2	1	6	4	2	4	8
23	19	4	76	63	13	28	19	9	93	63	30	26	85

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Versuchs-nummer	Monat	Tag	Stunde	Tempe-ratur in C°	Wind	Windrichtung und Stärke	Feuch-tigkeit	Wetter vor und während des Aussetzens der Schalen	Wetter tags vorher	Aus-setz-zeit in Min.
120, 123	Oktober	4	12	11	fast still	SE 1	54	klar	ztw. Regen	5
128, 131		20	12^{35}	6·5	schwach	NNE 1	59	bewölkt	bewölkt	5
136, 139		31	12^{20}	12	fast still	S 1	86	bewölkt, Nebel	schön, i. d. Früh Nebel	5
142, 145	November	3	12^{30}	10·5	fast still	NNW 1	81	bewölkt, i. d. Früh Nebel	bewölkt	5
149, 151		10	12^{20}	12	schwach	NNW 1	78	bewölkt	bewölkt, ztw. Regen	5
154, 155		17	12^{30}	1	mäßig	N 2	54	bewölkt	bewölkt, Schnee	5
156, 159		22	12^{25}	8	fast still	WNW 1	67	tlw. bewölkt, i. d. Früh Regen	Regen, Nebel	5
161, 164		28	12^{25}	6·5	schwach	NNW 2	71	schön, i. d. Früh Nebel	Regen	5
167, 170	Dezember	1	12^{35}	7	schwach	SSE 2	86	bewölkt, Nebel	schön	5
173, 176		11	12^{5}	8	schwach	SSE 1	78	bewölkt	bewölkt, Nebel	5
179, 182		15	12^{15}	8	sehr schwach	E 1	83	schön, Nebel	Regen	5
185, 188		20	12^{5}	2	fast still	SE 1	62	schön	Schnee, abds. starker Wind	5
191, 194	Jänner	12	12^{5}	1	fast still	WNW 1	71	bewölkt	schön, abds. Nebel	5
197, 200		16	12^{20}	8·5	mäßig	SE 1	81	bewölkt	bewölkt	5
—, 205		23	12^{5}	− 8	fast still	ENE 1	[illegible]	heiter	heiter	5
208, 211	Februar	13	12^{10}	0·5	schwach	NW 2	81	bewölkt vorm. ztw. Schnee	bewölkt, Nebel	5
218, 221	März	2	11^{50}	1	schwach	NNE 2	63	bewölkt	schön	5
224, 227		8	12^{35}	8	ziemlich stark	W 4	75	bewölkt, vorm. Regen, während d. Expon. hat es getropft	bewölkt, Nebelreißen	3
230, 233		14	12^{10}	11·5	schwach	N 1	57	bewölkt	bewölkt, Regen	5
236, 239		20	12^{30}	11·5	schwach	SE 1	58	bewölkt	bewölkt, abds. schön	5
242, 245		23	12^{20}	5	schwach	NE 1	55	bewölkt	bewölkt	5
248, 251		27	12^{15}	4	ziemlich stark	WNW 4	87	bewölkt, bis 11^{h} Regen	bewölkt, abds. Ausheit.	5
254, 257		30	12	14	ziemlich stark	SSE 3	44	bewölkt	schön	5
260, 263	April	4	12	10	schwach	WSW 2	46	schön, vorm. Regen	teilw. bewölkt	5
266, 269		10	12^{30}	9	schwach	WSW 1	41	bewölkt, i. d. Früh starker Wind	bewölkt, Regen	5
272, 275		13	12^{30}	17	mäßig	NNW 2	50	schön	schön	5

Nährboden *A*						Nährboden *B*						Mittel	
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Zahl d. ges. Kol.	Zahl d. Pilz Kol.	Zahl d. Hefe Kol.	R. Z. d. ges. Kol.	R. Z. d. Pilz Kol.	R. Z. d. Hefe Kol.	Zahl d. ges. Kol.	Zahl d. Pilz Kol.	Zahl d. Hefe Kol.	R. Z. d. ges. Kol.	R. Z. d. Pilz Kol.	R. Z. d. Hefe Kol.	A. Z.	R. Z.
11	9	2	22	18	4	6	3	3	12	6	6	8	17
4	4	0	8	8	0	5	4	1	10	8	2	4	9
8	7	1	16	14	2	9	8	1	18	16	2	8	17
4	4	0	8	8	0	4	3	1	8	6	2	4	8
6	5	1	12	10	2	9	6	3	18	12	6	7	15
22	21	1	44	42	2	14	8	6	28	16	12	18	36
1	1	0	2	2	0	4	3	1	8	6	2	2	5
3	3	0	6	6	0	5	3	2	10	6	4	4	8
5	5	0	10	10	0	5	1	4	10	2	8	5	10
8	4	4	16	8	8	9	2	7	18	4	14	8	17
2	2	0	4	4	0	3	3	0	6	6	0	2	5
12	2	10	24	4	20	10	4	6	20	8	12	11	22
2	2	0	4	4	0	2	2	0	4	4	0	2	4
14	4	10	28	8	20	11	8	3	22	16	6	12	25
—	—	—	—	—	—	4	2	2	8	4	4	—	—
2	0	2	4	0	4	0	0	0	0	0	0	1	2
2	1	1	4	2	2	2	1	1	4	2	2	2	4
5	2	3	16	6	10	4	1	3	13	3	10	4	15
3	3	0	6	6	0	0	0	0	0	0	0	1	3
3	0	3	6	0	6	9	2	7	18	4	14	6	12
4	1	3	8	2	6	5	2	3	10	4	6	4	9
2	1	1	4	2	2	3	3	0	6	6	0	2	5
28	4	24	56	8	48	30	8	22	60	16	44	29	58
10	4	6	20	8	12	8	3	5	16	6	10	9	18
7	2	5	14	4	10	6	4	2	12	8	4	6	13
24	4	20	48	8	40	18	1	17	36	2	34	21	42

Türkenschanz-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Versuchs-nummer	Monat	Tag	Stunde	Temperatur in C°	Wind	Windrichtung und Stärke	Feuchtigkeit	Wetter vor und während des Aussetzens der Schalen	Wetter tags vorher	Aussetzzeit in Min.
2, 5	April	14	3^{15}	12·5	stark	W 3	51	bewölkt, Regen	bewölkt m. ztw. Sonne und Regen	5
8, 11		19	2^{50}	18	mäßig	W 2	34	bewölkt m. Sonnenschein	bewölkt, Regen	5
14, 17		26	2^{30}	21·5	fast still	N 1	72	bewölkt m. Sonnenschein	bewölkt, Regen	5
20, 23	Mai	2	2^{20}	24	fast still	SE 2	56	schön	schön	5
26, 29		5	2^{50}	27·5	stark	S 4	55	bewölkt m. Sonnenschein	schön	5
32, 35		10	2^{40}	24	fast still	SE 2	44	heiter	heiter	5
38, 41		19	2^{40}	22·5	stark	NNW 4	30	schön	schön	5
—, 47		26	2^{35}	29	fast still	E 1	54	heiter	schön	5
50, 53	Juni	2	2^{35}	24·5	schwach	SE 2	56	schön	bewölkt	5
—, 56		9	3	29·5	fast still	SSE 2	51	schön	schön	5
59, 62		16	2^{45}	14·5	mäßig	WNW 2	68	bewölkt, vorher Regen	Regen m. ztw. Sonnenschein	5
64, 66		21	2^{30}	19·5	fast still	W 1	55	bewölkt	ztw. Sonnenschein, abds. Regen	5
69, 72		30	2^{45}	27	fast still	WNW 1	44	bewölkt m. Sonnenschein	schön, abds. Regen	5
75, —	Juli	7	2^{40}	29	still	NNW 1	55	schön	heiter	5
79, —		12	2^{45}	25	fast still	NW 3	60	schön, bis 10^{h} Regen	nachts Regen	5
82, 85		14	2^{35}	25·5	still	N 1	67	bewölkt m. Sonnenschein	schön	5
88, 91	August	25	2^{30}	28·5	mäßig	WNW 2	39	heiter	meist heiter	5
—, 94		29	2^{30}	28	fast still	ESE 1	58	schön	ztw. Regen	5
97, 100	September	6	2^{45}	21	fast still	N 1	74	bewölkt, bis 11^{h} Regen	ztw. Regen	5
105, 108		13	2^{45}	23	mäßig	WNW 4	48	heiter	ztw. Regen	5
—, 112		26	3^{15}	21	fast still	SE 2	68	schön	heiter	5
115, 118		29	2^{30}	21	mäßig	S 3	68	bewölkt	bewölkt	5

B

park.

Nährboden *A*						Nährboden *B*						Mittel	
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Zahl d. ges. Kol.	Zahl d. Pilz Kol.	Zahl d. Hefe Kol.	R. Z. d. ges. Kol.	R. Z. d. Pilz Kol.	R. Z. d. Hefe Kol.	Zahl d. ges. Kol.	Zahl d. Pilz Kol.	Zahl d. Hefe Kol.	R. Z. d. ges. Kol.	R. Z. d. Pilz Kol.	R. Z. d. Hefe Kol.	A. Z.	R. Z.
8	8	0	16	16	0	13	7	6	26	14	12	10	21
5	2	3	10	4	6	6	6	0	12	12	0	5	11
3	3	0	6	6	0	10	10	0	20	20	0	6	13
4	1	3	8	2	6	14	11	3	28	22	6	9	18
11	11	0	22	22	0	19	15	4	38	30	8	15	30
3	3	0	6	6	0	8	4	4	16	8	8	5	11
14	10	4	28	20	8	18	15	3	36	30	6	16	32
—	—	—	—	—	—	14	13	1	28	26	2	—	—
17	15	2	34	30	4	16	12	4	32	24	8	16	33
—	—	—	—	—	—	28	27	1	56	54	2	—	—
10	8	2	20	16	4	16	14	2	32	28	4	13	26
18	15	3	36	30	6	20	20	0	40	40	0	19	38
6	6	0	12	12	0	6	6	0	12	12	0	6	12
4	4	0	8	8	0	—	—	—	—	—	—	—	—
7	7	0	14	14	0	—	—	—	—	—	—	—	—
2	2	0	4	4	0	4	4	0	8	8	0	3	6
14	14	0	28	28	0	8	7	1	16	14	2	11	22
—	—	—	—	—	—	7	6	1	14	12	2	—	—
12	12	0	24	24	0	12	12	0	24	24	0	12	24
10	10	0	20	20	0	12	10	2	24	20	4	11	22
—	—	—	—	—	—	4	3	1	8	6	2	—	—
10	9	1	20	18	2	8	7	1	16	14	2	9	18

1 Versuchs-nummer	2 Monat	3 Tag	4 Stunde	5 Tempe-ratur in C°	6 Wind	7 Windrichtung und Stärke	8 Feuch-tigkeit	9 Wetter vor und während des Aussetzens der Schalen	10 Wetter tags vorher	11 Aus-setz-zeit in Min.
121, 124	Oktober	4	2^{50}	14	schwach	SE 1	54	klar	ztw. Regen	5
126, 129		13	3^{10}	24·5	mäßig	WNW 4	47	klar	schön	5
132, 134		20	2^{15}	10	schwach	NNE 1	59	bewölkt	bewölkt	5
137, 140		31	3	13·5	fast still	S 1	86	bewölkt, Nebel	schön, i. d. Früh Nebel	5
143, 146	November	3	2^{45}	11·5	fast still	NNW 1	81	bewölkt, i. d. Früh Nebel	bewölkt	5
148, 152		10	2^{30}	13	fast still	NNW 1	78	bewölkt	bewölkt, ztw. Regen	5
157, 160		22	2^{30}	9	fast still	WNW 1	67	tlw. bewölkt, i. d. Früh Nebel	Regen, Nebel	5
162, 165		28	2^{30}	5	schwach	NNW 2	71	bewölkt, i. d. Früh Nebel	Regen	5
168, 171	Dezember	1	2^{30}	6	schwach	SSE 2	86	bewölkt, Nebel	schön	5
174, 177		11	2^{30}	8	schwach	SSE 1	78	bewölkt, kurz vorher Regen	bewölkt, Nebel	5
180, 183		15	2^{30}	8·5	mäßig	E 1	83	schön, vorm. Nebel	Regen	5
186, 189		20	2^{35}	2	fast still	SE 1	62	schön	Schnee, abds. starker Wind	5
192, 195	Jänner	12	2^{50}	1·5	fast still	WNW 1	71	bewölkt	schön, abds. Regen	5
198, 201		16	2^{55}	8	mäßig	SE 1	81	bewölkt	bewölkt	5
203, 206		23	1^{45}	−6	fast still	ENE 1	63	heiter	heiter	5
209, 212	Februar	13	2^{30}	1	sehr schwach	NW 2	81	bewölkt, leichter Schneefall vor d. Expos.	bewölkt, Nebel	5
214, 217		16	3^{40}	−0·5	still	0	76	heiter	heiter	5
219, 222	März	2	2^{30}	2·5	schwach	NNE 2	63	bewölkt	schön	5
225, 228		8	2^{45}	7	mäßig	W 4	75	bewölkt, vorm. Regen	bewölkt, Nebelreißen	5
231, 234		14	2^{50}	13	fast still	N 1	57	teilw. bewölkt	bewölkt, Regen	5
237, 240		20	2^{15}	12	sehr schwach	SE 1	58	bewölkt	bewölkt, abds. schön	5
243, 246		23	2^{20}	6·5	still	NE 1	55	bewölkt	bewölkt	5
249, 252		28	2^{30}	7	ziemlich stark	NNW 3	53	teilw. bewölkt	Regen	5
255, 258		30	2^{35}	15	ziemlich stark	SSE 3	44	teilw. bewölkt	schön	5
261, 264	April	4	3^{25}	12	schwach	WSW 2	46	schön, vorm. Regen	teilw. bewölkt	5
267, 270		10	2^{25}	11	schwach	WSW 1	41	bewölkt, i. d. Früh starker Wind	bewölkt, Regen	5
273, 276		13	2^{30}	17	mäßig	NNW 2	50	schön	schön	5

Nährboden *A*						Nährboden *B*						Mittel	
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Zahl d. ges. Kol.	Zahl d. Pilz Kol.	Zahl d. Hefe Kol.	R. Z. d. ges. Kol.	R. Z. d. Pilz Kol.	R. Z. d. Hefe Kol.	Zahl d. ges. Kol.	Zahl d. Pilz Kol.	Zahl d. Hefe Kol.	R. Z. d. ges. Kol.	R. Z. d. Pilz Kol.	R. Z. d. Hefe Kol.	A. Z.	R. Z.
7	6	1	14	12	2	8	6	2	16	12	4	7	15
7	7	0	14	14	0	5	5	0	10	10	0	6	12
14	14	0	28	28	0	12	12	0	24	24	0	13	26
15	15	0	30	30	0	16	16	0	32	32	0	15	31
4	4	0	8	8	0	4	3	1	8	6	2	4	8
5	5	0	10	10	0	10	9	1	20	18	2	7	15
3	3	0	6	6	0	3	3	0	6	6	0	3	6
4	3	1	8	6	2	2	2	0	4	4	0	3	6
7	6	1	14	12	2	4	2	2	8	4	4	5	11
9	9	0	18	18	0	11	8	3	22	16	6	10	20
6	6	0	12	12	0	11	9	2	22	18	4	8	17
3	1	2	6	2	4	2	2	0	4	4	0	2	5
3	3	0	6	6	0	1	0	1	2	0	2	2	4
3	3	0	6	6	0	5	4	1	10	8	2	4	8
0	0	0	0	0	0	2	0	2	4	0	4	1	2
3	3	0	6	6	0	1	0	1	2	0	2	2	4
2	2	0	4	4	0	2	2	0	4	4	0	2	4
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2	0	4	4	0	1	1	0	2	2	0	1	3
0	0	0	0	0	0	2	2	0	4	4	0	1	2
4	4	0	8	8	0	4	2	2	8	4	4	4	8
1	1	0	2	2	0	1	1	0	2	2	0	1	2
3	2	1	6	4	2	3	2	1	6	4	2	3	6
8	3	5	16	6	10	23	5	18	46	10	36	15	31
1	1	0	2	2	0	5	0	5	10	0	10	3	6
4	2	2	8	4	4	5	3	2	10	6	4	4	9
3	1	2	6	2	4	6	5	1	12	10	2	4	9

Alserstraße, gegenüber

1 Versuchs-nummer	2 Monat	3 Tag	4 Stunde	5 Tempe-ratur in C°	6 Wind	7 Windrichtung und Stärke	8 Feuch-tigkeit	9 Wetter vor und während des Aussetzens der Schalen	10 Wetter tags vorher	11 Aus-setz-zeit in Min.
3, 6	April	14	3^{15}	11·5	stark	W 3	51	bewölkt, vorher Regen	bewölkt m. ztw. Sonnenschein und Regen	2
9, 12		19	3^{30}	15·5	mäßig	W 2	34	bewölkt m. Sonnenschein	bewölkt, Regen	2
15, 18		26	3^{20}	19	fast still	N 1	72	bewölkt m. Sonnenschein	bewölkt, Regen	2
21, 24	Mai	2	3^{10}	21	fast still	SE 2	56	schön	schön	2
27, 30		5	3^{40}	24·5	mäßig	S 4	55	bewölkt m. Sonnenschein	schön	2
33, 36		10	3^{25}	21	fast still	SE 2	44	heiter	heiter	2
39, 42		19	3^{30}	18·5	stark	NNW 4	30	schön	schön	2
—, 48		26	3^{30}	27	fast still	E 1	54	heiter	schön	2
51, 54	Juni	2	3^{25}	23·5	schwach	SE 2	56	schön	bewölkt	2
—, 57		9	3^{50}	27·5	fast still	SSE 2	51	schön	schön	2
65, 67		21	3^{15}	19·5	fast still	W 1	55	bewölkt m. Sonnenschein	ztw. Sonne, abds. Regen	2
70, 73		30	3^{30}	23·5	fast still	WNW 1	44	bewölkt m. Sonnenschein	schön, abds. Regen	2
76, —	Juli	7	3^{25}	26·5	fast still	NNW 1	55	schön	heiter	2
80, —		12	3^{25}	21	fast still	NW 3	60	schön, bis 10^{h} Regen	nachts Regen	2
83, 86		14	3^{25}	24·5	schwach	N 1	67	bewölkt m. Sonnenschein	schön	2
89, 92	August	25	3^{15}	25·5	fast still	WNW 2	39	heiter	meist heiter	2
—, 95		29	3^{15}	25	fast still	ESE 1	58	schön	ztw. Regen	2
98, 101	September	6	3^{30}	21	fast still	N 1	74	bewölkt, bis 11^{h} Regen	ztw. Regen	2
106, 109		13	3^{30}	20	mäßig	WNW 4	48	heiter	ztw. Regen	2
—, 113		26	3^{50}	17	fast still	SE 2	68	schön	heiter	2
116, 119		29	3^{15}	20·5	schwach	S 3	68	bewölkt	bewölkt	2

C

dem Krankenhause.

Nährboden *A*						Nährboden *B*						Mittel	
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Zahl d. ges. Kol.	Zahl d. Pilz Kol.	Zahl d. Hefe Kol.	R. Z. d. ges. Kol.	R. Z. d. Pilz Kol.	R. Z. d. Hefe Kol.	Zahl d. ges. Kol.	Zahl d. Pilz Kol.	Zahl d. Hefe Kol.	R. Z. d. ges. Kol.	R. Z. d. Pilz Kol.	R. Z. d. Hefe Kol.	A. Z.	R. Z.
36	5	31	180	25	155	107	10	97	535	50	485	71	357
9	4	5	45	20	25	40	3	37	200	15	185	25	122
43	12	31	215	60	155	53	22	31	265	110	155	48	240
22	14	8	110	70	40	9	5	4	45	25	20	15	77
18	14	4	90	70	20	18	9	9	90	45	45	18	90
5	2	3	25	10	15	20	4	16	100	20	80	12	62
34	15	19	170	75	95	32	10	22	160	50	110	33	165
—	—	—	—	—	—	23	6	17	115	30	85	—	—
19	11	8	95	55	40	22	13	9	110	65	45	20	102
—	—	—	—	—	—	22	14	8	110	70	40	—	—
39	29	10	195	145	50	41	15	26	205	75	130	40	200
18	8	10	90	40	50	15	8	7	75	40	35	16	82
12	4	8	60	20	40	—	—	—	—	—	—	—	—
9	5	4	45	25	20	—	—	—	—	—	—	—	—
20	10	10	100	50	50	21	13	8	105	65	40	20	102
16	14	2	80	70	10	14	2	12	70	10	60	15	75
—	—	—	—	—	—	23	5	18	115	25	90	—	—
23	4	19	115	20	95	43	10	33	215	50	165	33	165
26	14	12	130	70	60	13	4	9	65	20	45	19	97
—	—	—	—	—	—	4	2	2	20	10	10	—	—
11	8	3	55	40	15	10	8	2	50	40	10	10	52

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Versuchsnummer	Monat	Tag	Stunde	Temperatur in C °	Wind	Windrichtung und Stärke	Feuchtigkeit	Wetter vor und während des Aussetzens der Schalen	Wetter tags vorher	Aussetzzeit in. Min.
122, 125	Oktober	4	3^{30}	12	schwach	SE 1	54	klar	ztw. Regen	2
127, 130		13	3^{40}	21·5	mäßig	WNW 4	47	klar	schön	2
133, 135		20	2^{50}	7	schwach	NNE 1	59	bewölkt	bewölkt	2
138, 141		31	3^{40}	14·5	fast still	S 1	86	bewölkt, Nebel	schön, i. d. Früh Nebel	2
144, 147	November	3	3^{30}	11	fast still	NNW 1	81	bewölkt, i. d. Früh Nebel	bewölkt	2
150, 153		10	3^{15}	12·5	fast still	NNW 1	78	bewölkt	bewölkt, ztw. Regen	2
158, —		22	3^{5}	8·5	fast still	WNW 1	71	bewölkt, i. d. Früh Regen	Regen, Nebel	2
163, 166		28	3^{15}	6	fast still	NNW 2	71	bewölkt, i. d. Früh Nebel	Regen	2
169, 172	Dezember	1	3^{20}	6·5	schwach	SSE 2	86	bewölkt, Nebel	schön	2
175, 178		11	3^{15}	9	schwach	SSE 1	78	bewölkt, kurz vorher Regen	bewölkt, Nebel	2
181, 184		15	3^{15}	8·5	mäßig	E 1	83	schön, vorm. Nebel	Regen	2
187, 190		20	3^{20}	2	fast still	SE 1	62	schön	Schnee, abds. starker Wind	2
193, 196	Jänner	12	3^{40}	1·5	fast still	WNW 1	71	bewölkt	schön, abds. Nebel	2
199, 202		16	3^{40}	8	mäßig	SE 1	81	bewölkt	bewölkt	2
204, 207		23	2^{35}	–6	fast still	ENE 1	63	heiter	heiter	2
210, 213	Februar	13	3^{15}	0·5	schwach	NW 2	81	bewölkt	bewölkt	2
215, 216		16	4^{20}	–0·5	still	0	76	heiter	heiter	2
220, 223	März	2	3^{10}	1·5	mäßig	NNE 2	63	bewölkt	schön	2
226, 229		8	3^{35}	7·5	schwach	W 4	75	bewölkt, vorm. Regen	bewölkt, Nebelreißen	2
232, 235		14	3^{35}	12·5	schwach	N 1	57	teilw. bewölkt	bewölkt, Regen	2
238, 241		20	3	11·5	schwach	SE 1	58	bewölkt	bewölkt, abds. schön	2
244, 247		23	3	5	schwach	NE 1	55	bewölkt	bewölkt	2
250, 253		28	3^{15}	5·5	stark	NNW 3	53	teilw. bewölkt	Regen	2
256, 259		30	3^{20}	15	mäßig	SSE 3	44	teilw. bewölkt	schön	2
262, 265	April	4	4	11	schwach	WSW 2	46	schön, vorm. Regen	teilw. bewölkt	2
268, 271		10	3^{5}	10·5	schwach	WSW 1	41	bewölkt, i. d. Früh starker Wind	bewölkt, Regen	2
274, 277		13	3^{15}	15	mäßig	NNW 2	50	schön	schön	2

Nährboden *A*						Nährboden *B*						Mittel	
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Zahl d. ges. Kol.	Zahl d. Pilz Kol.	Zahl d. Hefe Kol.	R. Z. d. ges. Kol.	R. Z. d. Pilz Kol.	R. Z. d. Hefe Kol.	Zahl d. ges. Kol.	Zahl d. Pilz Kol.	Zahl d. Hefe Kol.	R. Z. d. ges. Kol.	R. Z. d. Pilz Kol.	R. Z. d. Hefe Kol.	A. Z.	R. Z.
9	5	4	45	25	20	15	5	10	75	25	50	12	60
12	2	10	60	10	50	13	7	6	65	35	30	12	62
15	5	10	75	25	50	36	2	34	180	10	170	25	127
14	13	1	70	65	5	11	5	6	55	25	30	12	62
73	4	69	365	20	345	80	7	73	400	35	365	76	382
11	4	7	55	20	35	19	4	15	95	20	75	15	75
5	3	2	25	15	10	—	—	—	—	—	—	—	—
5	3	2	25	15	10	13	5	8	65	25	40	9	45
9	3	6	45	15	30	8	6	2	40	30	10	8	42
3	2	1	15	10	5	8	7	1	40	35	5	5	27
7	3	4	35	15	20	11	4	7	55	20	35	9	45
76	5	71	380	25	355	107	5	102	535	25	510	91	457
4	1	3	20	5	15	4	2	2	20	10	10	4	20
8	6	2	40	30	10	11	5	6	55	25	30	9	47
2	1	1	10	5	5	1	0	1	5	0	5	1	7
4	4	0	20	20	0	1	1	0	5	5	0	2	12
7	5	2	35	25	10	5	4	1	25	20	5	6	30
15	11	4	75	55	20	16	11	5	80	55	25	15	77
5	4	1	25	20	5	3	2	1	15	10	5	4	20
21	1	20	105	5	100	21	2	19	105	10	95	21	105
9	4	5	45	20	25	8	2	6	40	10	30	8	42
6	3	3	30	15	15	6	1	5	30	5	25	6	30
8	3	5	40	15	25	45	0	45	225	0	225	26	132
9	2	7	45	10	35	12	3	9	60	15	45	10	52
13	3	10	65	15	50	30	2	28	150	10	140	21	107
22	4	18	110	20	90	29	3	26	145	15	130	25	127
51	3	48	255	15	240	23	1	22	115	5	110	37	185

D₁

Versuchsnummer	*Saccharomyces*	*Penicillium* sp.	*Cladosporium* sp. I	*Cladosporium* sp. II	*Cladosporium* sp. III	*Aspergillus glaucus*	*Aspergillus niger*	*Aspergillus candidus*	*Aspergillus* sp.	*Sachsia* sp.	*Gemmophora purpur.*	*Alternaria* sp.	*Botrytis* sp.	*Verticillium* sp.	*Torula* sp.	*Penicillium luteum*	*Rhizopus nigricans*	*Mucor racemosus*	*Cephalothecium roseum*	*Oidium* sp.	Pyknidenbildner	Nicht bestimmte Pilze	Sterile Mycelien
	Artenname																						
1	10	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	2	.
2	.	2	.	.	1	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1
3	31	2	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.
4	28	3	.	.	.	.	.	.	.	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
5	6	2	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	3
6	97	3	.	.	1	.	.	.	.	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	2
7	3	2	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
8	3	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
9	5	1	.	.	.	.	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
10	11	2	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
11	.	2	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3
12	37	1	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.
13	.	7	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
14	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
15	31	7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	2
16	4	7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	1
17	.	4	.	.	2	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3
18	31	20	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
19	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
20	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
21	8	13	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
22	.	15	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
23	3	4	1	.	2	.	.	.	.	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
24	4	1	.	.	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
25	1	1	.	1	10	2	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
26	.	.	2	.	2	.	.	.	.	6	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
27	4	2	2	.	2	3	.	.	.	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
28	9	.	.	.	12	.	.	.	.	1	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3
29	4	.	.	.	7	.	.	.	1	3	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
30	9	1	.	.	5	.	.	.	1	.	.	.	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.
31	1	1	.	.	1	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
32	.	.	.	.	1	.	.	.	.	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
33	3	.	.	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
35	4	2	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
36	16	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3
37	8	2	.	.	1	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
38	4	2	.	.	2	.	.	.	.	3	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
39	19	2	.	.	4	.	.	.	.	6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3
40	8	6	1	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2

D_2

Versuchsnummer	Artenname																						
	Saccharomyces	*Penicillium* sp.	*Cladosporium* sp. I	*Cladosporium* sp. II	*Cladosporium* sp. III	*Aspergillus glaucus*	*Aspergillus niger*	*Aspergillus candidus*	*Aspergillus* sp.	*Sachsia* sp.	*Gemmophora purpur.*	*Alternaria* sp.	*Botrytis* sp.	*Verticillium* sp.	*Torula* sp.	*Penicillium luteum*	*Rhizopus nigricans*	*Mucor racemosus*	*Cephalothecium roseum*	*Oidium* sp.	Pyknidenbildner	Nicht bestimmte Pilze	Sterile Mycelien
41	3	1	.	.	3	.	.	.	.	4	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6
42	22	2	.	.	1	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	5
43	1	3	.	.	2	1	.	.	.	2	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
44	7	2	1	.	2	.	.	.	.	3	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	1	2
45	.	.	.	.	15	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
46	1	2	.	.	19	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.
47	1	1	.	.	8	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3
48	17	.	1	.	2	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
49	1	.	1	.	30	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3
50	2	2	.	.	12	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
51	8	.	.	.	6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5
52	1	1	.	.	47	.	.	.	.	1	1	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
53	4	.	.	.	9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3
54	9	1	2	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5
55	.	1	.	.	29	1	1	.	.	.	.	.	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.	2
56	1	1	.	.	19	.	.	.	.	3	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3
57	8	1	.	.	8	.	.	.	1	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
58	15	1	.	.	37	.	.	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
59	2	.	.	.	1	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	4
60	1	.	.	.	11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
61	23	2	.	2	42	.	.	.	.	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3
62	2	.	.	.	3	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	.	3
63	1	.	.	2	10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
64	3	1	1	.	10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3
65	10	23	1	.	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
66	.	11	.	.	8	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
67	26	11	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
68	2	2	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
69	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	2
70	10	1	.	.	4	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	.
71	1	10	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
72	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	3
73	7	.	.	.	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	2
74	1	1	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
75	.	.	.	.	2	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.
76	8	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.
77	.	1	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
78	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	8
79	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5
80	4	1	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1

D₃

Versuchsnummer	Artenname																						
	Saccharomyces	*Penicillium* sp.	*Cladosporium* sp. I	*Cladosporium* sp. II	*Cladosporium* sp. III	*Aspergillus glaucus*	*Aspergillus niger*	*Aspergillus candidus*	*Aspergillus* sp.	*Sachsia* sp.	*Gemmophora purpur.*	*Alternaria* sp.	*Botrytis* sp.	*Verticillium* sp.	*Torula* sp.	*Penicillium luteum*	*Rhizopus nigricans*	*Mucor racemosus*	*Cephalothecium roseum*	*Oidium* sp.	Pyknidenbildner	Nicht bestimmte Pilze	Sterile Mycelien
81	2	1	.	.	11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3
82	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
83	10	2	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4
84	1	.	.	1	5	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
85	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
86	8	1	2	.	2	.	.	.	1	1	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	1	.	3
87	.	1	1	.	3	8	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	2
88	.	5	.	.	7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
89	2	1	.	.	.	8	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	2
90	8	5	.	.	8	.	.	.	.	.	.	.		.	.	.	.	.	.	.	.	.	4
91	1	.	.	.	5	1	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
92	12	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
93	1	.	1	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
94	1	1	.	.	3	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.
95	18	.	.	1	3	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		.	.	.
96	.	.	1	.	9	.	.	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	3
97	.	.	2	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	2
98	19	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.		.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	2
99	4	1	.	.	9	.	.	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3
100	.	.	1	.	4	.	.	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	2
101	33	.	1	1	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	2
102	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
103	1	.	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
104	.	.	1	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
105	.	.	1	.	3	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3
106	12	5	2	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4
107	6	3	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
108	2	.	2	.	5	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
109	9	2	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.
110	2	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
111	1	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
112	1	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
113	2	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
114	4	.	1	.	9	.	.	.	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4
115	1	2	2	.	4	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
116	3	2	.	.	2	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3
117	9	.	1	.	7	.	.	.	.	6	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
118	1	.	.	.	4	.	.	.	.	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
119	2	1	.	.	.	.	.	1	.	1	2	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1
120	2	3	.	.	2	.	.	.	.	1	.	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	1

D$_4$

Versuchsnummer	*Saccharomyces*	*Penicillium* sp.	*Cladosporium* sp. I	*Cladosporium* sp. II	*Cladosporium* sp. III	*Aspergillus glaucus*	*Aspergillus niger*	*Aspergillus candidus*	*Aspergillus* sp.	*Sachsia* sp.	*Gemmophora purpur.*	*Alternaria* sp.	*Botrytis* sp.	*Verticillium* sp.	*Torula* sp.	*Penicillium luteum*	*Rhizopus nigricans*	*Mucor racemosus*	*Cephalothecium roseum*	*Oidium* sp.	Pyknidenbildner	Nicht bestimmte Pilze	Sterile Mycelien
	Artenname																						
121	1	1	.	.	1	.	.	.	.	.	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.	1	.	1
122	4	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
123	3	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
124	2	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4
125	10	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3
126	.	.	3	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3
127	10	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
128	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
129	.	1	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	1
130	6	2	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	2
131	1	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
132	.	.	.	.	7	.	.	.	.	1	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	3
133	10	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	2
134	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	6
135	34	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
136	1	3	.	.	1	.	.	.	2	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
137	.	.	2	.	11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
138	1	2	1	.	3	1	.	4	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
139	1	.	.	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	2
140	.	.	1	.	6	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	.	2
141	6	1	.	.	1	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
142	.	1	.	.	2	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
143	.	1	.	.	.	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
144	69	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3
145	1	.	.	.	.	.	.	.	2	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
146	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
147	73	1	.	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	1	.
148	.	1	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
149	1	1	.	.	1	1	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
150	7	3	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
151	3	2	.	.	2	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
152	1	.	.	.	6	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
153	15	.	.	.	3	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
154	1	15	.	.	.	1	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	2
155	6	3	2	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
156	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
157	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
158	2	.	.	.	.	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
159	1	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
160	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2

D5

Versuchsnummer	*Saccharomyces*	*Penicillium* sp.	*Cladosporium* sp. I	*Cladosporium* sp. II	*Cladosporium* sp. III	*Aspergillus glaucus*	*Aspergillus niger*	*Aspergillus candidus*	*Aspergillus* sp.	*Sachsia* sp.	*Gemmophora purpur.*	*Alternaria* sp.	*Botrytis* sp.	*Verticillium* sp.	*Torula* sp.	*Penicillium luteum*	*Rhizopus nigricans*	*Mucor racemosus*	*Cephalothecium roseum*	*Oidium* sp.	Pyknidenbildner	Nicht bestimmte Pilze	Sterile Mycelien
	Artenname																						
161	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
162	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
163	2	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
164	2	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
165	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	1
166	8	1	1	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
167	.	.	.	.	2	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
168	1	.	1	.	4	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
169	6	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
170	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
171	2	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.
172	2	2	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	1
173	4	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	2
174	.	1	1	.	4	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
175	1	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
176	7	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
177	3	.	.	.	6	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.
178	1	3	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3
179	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
180	.	.	1	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1
181	4	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	1
182	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.
183	2	.	2	2	3	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
184	7	2	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.
185	10	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
186	2	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
187	71	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
188	6	2	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.
189	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.
190	102	2	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.
191	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
192	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
193	3	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
194	.	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
195	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
196	2	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
197	10	.	.	.	2	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
198	.	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.
199	2	3	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.
200	3	5	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	1

D₆

Versuchsnummer	Artenname																						
	Saccharomyces	*Penicillium* sp.	*Cladosporium* sp. I	*Cladosporium* sp. II	*Cladosporium* sp. III	*Aspergillus glaucus*	*Aspergillus niger*	*Aspergillus candidus*	*Aspergillus* sp.	*Sachsia* sp.	*Gemmophora purpur.*	*Alternaria* sp.	*Botrytis* sp.	*Verticillium* sp.	*Torula* sp.	*Penicillium luteum*	*Rhizopus nigricans*	*Mucor racemosus*	*Cephalothecium roseum*	*Oidium* sp.	Pyknidenbildner	Nicht bestimmte Pilze	Sterile Mycelien
201	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4
202	6	2	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
203	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
204	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
205	2	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.
206	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
207	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
208	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
209	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.
210	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.
211	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
212	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
213	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
214	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
215	2	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	1	.
216	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.
217	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.
218	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
219	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
220	4	10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
221	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
222	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
223	5	11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
224	3	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
225	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
226	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4	.
227	3	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
228	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
229	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
230	.	1	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
231	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
232	20	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
233	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
234	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
235	19	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
236	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
237	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
238	5	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1
239	7	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.
240	2	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1

D₇

Versuchsnummer	Artenname																						
	Saccharomyces	*Penicillium* sp.	*Cladosporium* sp. I	*Cladosporium* sp. II	*Cladosporium* sp. III	*Aspergillus glaucus*	*Aspergillus niger*	*Aspergillus candidus*	*Aspergillus* sp.	*Sachsia* sp.	*Gemmophora purpur.*	*Alternaria* sp.	*Botrytis* sp.	*Verticillium* sp.	*Torula* sp.	*Penicillium luteum*	*Rhizopus nigricans*	*Mucor racemosus*	*Cephalothecium roseum*	*Oidium* sp.	Pyknidenbildner	Nicht bestimmte Pilze	Sterile Mycelien
241	6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	1
242	3	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
243	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
244	3	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	1	.
245	3	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
246	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
247	5	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
248	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
249	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.
250	5	1	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.
251	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
252	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
253	45	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
254	24	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
255	5	1	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
256	7	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.
257	22	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	1	5
258	18	.	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	1
259	9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	1
260	6	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
261	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
262	10	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1
263	5	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
264	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
265	28	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
266	5	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
267	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	1	.
268	18	1	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.
269	2	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
270	2	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
271	26	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.
272	20	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
273	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
274	48	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1
275	17	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
276	1	1	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1
277	22	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1

Tabelle über die durchschnittliche Keimzahl[1] in jedem Monate.

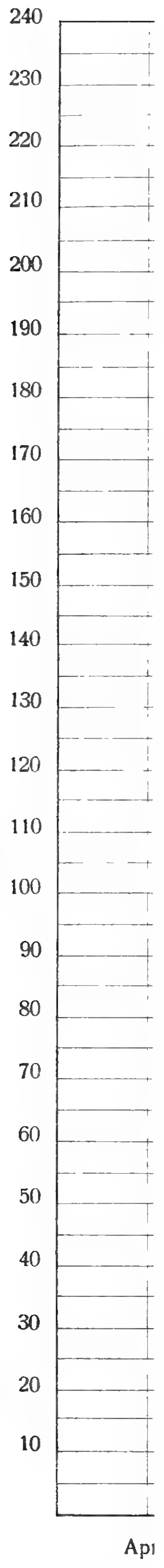
Monat	Dach			Türkenschanzpark			Straße		
	G. K.	P. K.	H. K.	G. K.	P. K.	H. K.	G. K.	P. K.	H. K.
April, II. Hälfte	31	12·3	18·6	15	12	3	240	46·7	193·3
Mai	31·1	24·7	6·5	23·3	18·4	4·9	100·5	43·9	56·6
Juni	86·7	71·2	15·5	30·4	27·3	3·1	125·7	70	55·7
Juli	18·8	17·2	1·6	8·5	8·5	0	77·5	40	37·5
August	32	26	6	19·3	18	1·3	88·3	35	53·3
September	29·7	22·4	7·3	19·4	18	1·4	92·8	35·7	57·1
Oktober	14·3	11·6	2·7	21	20·2	0·7	78·1	27·5	50·6
November	14·4	11·4	3	8·7	8	0·7	147·1	21·4	125·7
Dezember	13·5	5·7	7·8	13·2	10·7	2·5	143·1	21·8	121·2
Jänner	13·2	7·2	6	4·6	3·3	1·3	25	12·5	12·5
Februar	2	0	2	4	3·5	0·5	21·2	16·5	3·7
März	15	4·3	10·7	7·4	3·5	3·8	65·7	17·5	48·2
April, I. Hälfte	24·3	6	18·3	8	4	4	140	13·3	126·7

Jährliche Durchschnittszahl der Keime.[1]

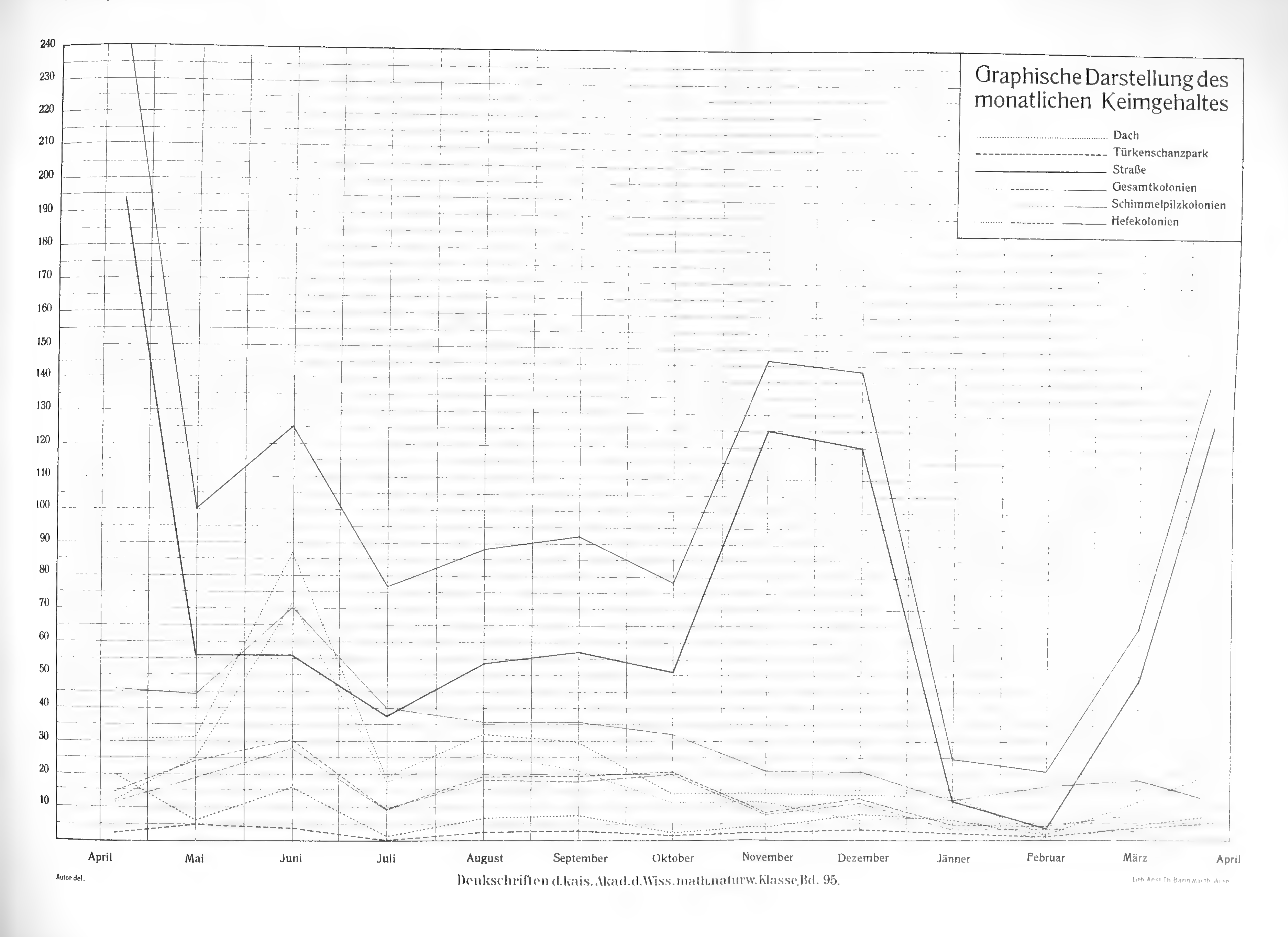
Dach			Türkenschanzpark			Straße		
G. K.	P. K.	H. K.	G. K.	P. K.	H. K.	G. K.	P. K.	H. K.
26·9	18·2	8·6	14·5	12·1	2·4	103·8	30·3	73·5

[1] Bei einer Expositionszeit von 10 Minuten auf einer Fläche von zirka 70 cm^2.

Pichler,



Autor del.


Graphische Darstellung des monatlichen Keimgehaltes
Dach
Türkenschanzpark
Straße
Gesamtkolonien
Schimmelpilzkolonien
Hefekolonien
240
230
220
210
200
190
180
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
April
Mai
Juni
Juli
August
September
Oktober
November
Dezember
Jänner
Februar
März
April

Autor del.

GEOLOGISCHE BESCHREIBUNG DES VALBONATALES IN NORDOST-ALBANIEN

ERGEBNISSE DER IM AUFTRAGE DER KAISERLICHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN IM SOMMER 1916 UNTERNOMMENEN GEOLOGISCHEN FORSCHUNGSREISE NACH ALBANIEN

VON

BERGRAT FRITZ KERNER v. MARILAUN

K. M. k. Akad.

MIT 2 PROFILTAFELN UND 1 KARTE

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 13. DEZEMBER 1917

Im vorigen Jahre wurde ich von der Balkankommission der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften mit der Aufgabe betraut, eine geologische Forschungsreise nach Albanien zu unternehmen. Von Seiten des k. u. k. Armee-Oberkommandos wurde die Bewilligung zu einer solchen Reise erteilt und der zu ihrer Durchführung nötige militärische Schutz gewährt. Die Kosten der Reise trug die Kaiserliche Akademie.

Die Wahl des Reisezieles blieb mir freigestellt und fiel auf die Südostflanke der Nordalbanischen Alpen und das ihnen ostwärts vorliegende Hügelland. Dieses die Schluchten von Valbona und das Krumatal umschließende Gebiet war geologisch noch ganz unerforscht. Franz Baron Nopcsa's höchst wertvolle Aufnahmen und Studien dehnten sich rechts vom Drin flußaufwärts bis zum Tale von Curaj aus. Von da ostwärts vermißt man Nachrichten über den Gebirgsbau, bis man im Berglande östlich vom Flusse Kruma auf dem schon von Amie Boué begangenen Pfade über die Čafa Prousit wieder von Geologen und Geographen schon beschriebenes Gebiet betritt. Der nächste im Norden schon aufgenommene Reiseweg Viquesnel's führt jenseits des wasser- und länderscheidenden Kammes der Nordalbanischen Alpen durch Südmontenegro. Das vor der jetzigen militärischen Besetzung überhaupt erst einmal von einem Fremden, dem deutschen Ingenieur Steinmetz, durchzogene Valbonatal war bis in die jüngste Zeit auch in topographischer Hinsicht eine der noch am wenigsten gekannten Gegenden Albaniens. Die bis vor kurzem gezeichneten Karten waren fehlerreich; erst die neueste, vom

Militärgeographischen Institute gegebene Darstellung auf Blatt Krajsnići, Zone 36, Kol. XXII, liefert — sich noch jeder Aufzeigung fraglicher Details enthaltend — in ihren allein eingetragenen Grundzügen sein annähernd richtiges Bild.

Das von mir zur geologischen Erforschung ausersehene Gebiet war nicht sehr ausgedehnt und konnte so nach vielen Richtungen hin durchstreift werden. Es lag mir als seit mehr als zwanzig Jahren mit Detailaufnahmen betrautem Geologen vielleicht näher, von einem ganzen kleineren Gebiete ein übersichtliches geologisches Bild zu liefern als einen oder zwei Reisewege von größerer Länge geologisch aufzunehmen. Die besonderen Umstände, unter denen meine Expedition stattfand, ließen es aber auch als passender erscheinen, das Arbeitsziel so abzustecken, daß es leichter durch ein längeres Verweilen an einigen wenigen Standplätzen als durch eine von Tag zu Tag erfolgende Weiterverlegung des nächtlichen Lagerplatzes zu erreichen war. Entsprechend der so einer geologischen Übersichtsaufnahme nahe gekommenen Art meiner Arbeit wurde es versucht, im folgenden die Mitteilung der Forschungsresultate nicht nach Reisewegen, sondern nach Geländeabschnitten zu gliedern.

Das Fehlen einer kartographischen Grundlage erwies sich bei einer Übersichtsaufnahme allerdings als störender, als wie es bei Begehung einzelner Reisewege empfunden worden wäre. Ein aufgetauchter Plan, einen Militärgeographen der Expedition beizugeben, ließ sich nicht verwirklichen. Allerdings wäre eine gleichzeitig mit geologischen Begehungen durchgeführte tachymetrische Aufnahme ersteren noch nicht zugute gekommen. Sie hätte es aber ermöglicht, an Ort und Stelle als Freihandzeichnungen entworfene geologische Kartenskizzen nachträglich auf richtige Maße zu bringen. Von mir unternommene Versuche, mir die nötigsten topographischen Grundlagen selbst zu schaffen, kamen über bescheidene Anfänge nicht hinaus, da es mir sogleich klar wurde, daß schon der geringste hier notwendige Zeitaufwand die Hauptziele meiner Sendung beeinträchtigt hätte. So ist das gebrachte Übersichtskärtchen in seinen Einzelheiten wohl von den allen nach Augenmaß gezeichneten Kartenskizzen anhaftenden Fehlern nicht frei, welche in einer Überschätzung der Stärke von Krümmungen und in einer Überschätzung der Größe reich gegliederten Geländes bestehen.

Betreffs der geographischen Nomenklatur schloß ich mich in Text und Karte genau an das schon oben erwähnte, vom Militärgeographischen Institute ausgegebene Blatt Krajsnići an. Eine Erkundung von Flurnamen bei den Eingebornen fand nicht statt; es wurde versucht, die vielen im Texte angeführten Gräben, Schluchten, Bergsporne und Hügel durch ihre Lagebeziehung zu den auf dem besagten Kartenblatte eingetragenen Ortsnamen zu bezeichnen. Ich überlasse es da gerne späterer, von mit der nordalbanischen Sprache und ihrer Transskription vertrauter Seite einsetzender Forschung, die geographische Wissenschaft zu bereichern.

Der größere Teil des der geologischen Erforschung unterzogenen Gebietes erwies sich als aus Massengesteinen aufgebaut. Die mikroskopische Untersuchung der dort gesammelten Gesteinsproben und die Berichterstattung über die aus ihr gewonnenen Ergebnisse wurde von Hofrat F. Becke übernommen. Die sedimentären Schichten westlich des Valbonatales zeigen bei teils nur sehr spärlicher und unzureichender Fossilführung, teils völligem Fehlen von organischen Resten eine ziemlich große lithologische Manigfaltigkeit. Es lassen sich aber nur lokale Schichtfolgen und keine durchgreifende regionale Gliederung erkennen. Da ein zusammenfassendes Bild der stratigraphischen Verhältnisse bei dieser Sachlage im wesentlichen auf eine bloße Wiederholung der in der geologischen Gebietsbeschreibung anzuführenden einzelnen Profilbefunde hinausliefe, wird hier am Schlusse vom Entwurfe eines solchen Bildes abgesehen und nur ein tektonischer Überblick gegeben. Eine kurze Orientierung über die Gebietstopik sei dem Expeditionsberichte vorangestellt.

Das Gebiet, dessen geologische Verhältnisse im folgenden beschrieben sind, ist die von den Flüssen Valbona und Kruma gegen den Drin zu entwässerte nordöstliche Ecke Albaniens. Es zerfällt in zwei landschaftlich ganz verschiedene Teile, in einen westlichen gebirgigen und in einen östlichen mit den Formen des Hügellandes. Die Grenze zwischen beiden wird durch das untere und mittlere

Valbonatal und durch das Tal des Tropojaflusses gebildet. Das im Westen dieser Täler sich erhebende Gebirge gehört den Nordalbanischen Alpen an und dürfte die höchsten Gipfel dieses Berglandes tragen. Es gliedert sich in zwei, vom obersten West-Ost streichenden Valbonatale, dem Tal von Dragobjs, geschiedene Abschnitte. Zur Rechten steht die bis gegen 2600 *m* aufragende Gebirgsgruppe der Maja Hekurave und Stüla Gris. Einen südlichen Vorbau derselben stellt die 1750 *m* hohe Korja Merturit dar. Links vom Tal von Dragobjs erhebt sich zunächst ein West-Ost streichender scharfer Grat und, durch die Klamm von Begaj von ihm getrennt, die bis gegen 2400 *m* emporsteigende Kette des Skülsen.

Die Hekurave-Gruppe gipfelt in einem N bis S streichenden zerscharteten Felskamme, an dessen Osthang sich zahlreiche Schluchten zum Valbonatale hinabsenken. Die Skülsenkette streicht von SW gegen NO und birgt an ihrer, dem Tropojatale zugekehrten Südostflanke mehrere in ihren Anfangsteilen schluchtartige, in ihren Endstücken sich zu flachen Gräben weitende Einschnitte. Gegen Ost streicht diese Kette bis zur Klamm, aus welcher der Tropojafluß hervorbricht.

Das östlich vom Valbonatal liegende, sich bis zur Ebene des Erenik (bei Djakova) erstreckende Hügelland umgreift den Taleinschnitt des Krumaflusses in Gestalt eines gegen S sich öffnenden Hufeisens. Dadurch, daß sich das Krumatal in seinem Anfangsstück gabelt und an die Zinken dieser Gabel jederseits eine dem Rande des Gebietes zustrebende Talfurche angeschlossen ist, kommt es zu einer Abtrennung des Mittelstückes der hufeisenförmigen Bergmasse von ihren Seitenteilen. Das Quellgebiet des Kruma, die Mulde von Bitüči erscheint so als eine zentrale Einsenkung in dem in Rede stehenden Hügellande, von welcher drei Tiefenzonen gegen NO, SO und W ausstrahlen. Die gegen SO abgehende Furche wird durch das Krumatal selbst gebildet, die nach NO ausstrahlende Senke durch den linken Quellgraben des Kruma, durch die Einsattlung der Čafa Skols und die von dieser zum Ereniktale verlaufende Talfurche. Die westwärts streichende Tiefenzone setzt sich aus dem rechtsseitigen Quellgraben des Kruma, aus der Einkerbung der Čafa Lusz und aus dem Tälchen der in den Tropoja mündenden Bistrica zusammen. Das nördliche Teilstück des Hügellandes wird selbst wieder durch eine W—O streichende Tiefenzone gequert, die durch den flachen Sattel der Čafa Morins und die sich beiderseits von ihr entwickelnden Taleinschnitte zustande kommt. Der südwärts von dieser Zone liegende Gebietsteil wird durch die Mulde von Majdan in eine östliche und westliche Hügelgruppe zerlegt. Das östliche Hügelland reicht bis zur Čafa Prousit und den von ihr gegen N und S abgehenden Gräben, jenseits welcher die Bergmasse des Bastriku beginnt. Das rechterseits des Krumaflusses ausgebreitete Gelände erfährt durch zwei südwärts gegen den Drin verlaufende Gräben und die nordwärts gegen den Valbona zu sich öffnende Talmulde von Pjani eine Gliederung in mehrere Rücken.

Das untere Valbonatal. Westhang.

Das untere Valbonatal stellt einen ziemlich engen Einschnitt dar, in dessen Grund es nur in sehr beschränktem Maße zur Entwicklung einer Talsohle kommt. Seine rechtsseitige Flanke wird durch die Osthänge der Korja Merturit und des nordwärts von ihr aufragenden Gebirgskammes gebildet. Zur Linken wird es durch die Karma Krajsnić und den in der nördlichen Fortsetzung dieses Hügels hinstreichenden Höhenzug begrenzt.

Die Korja Merturit war der östliche Grenzpfeiler des von Nopcsa nordwärts des Drin geologisch untersuchten und topographisch aufgenommenen Gebietes. Über die geologischen Verhältnisse der Südseite der Korja berichtet dieser Forschungsreisende folgendes: »Am Abhange der nördlich von Raja emporragenden Korja kommen in weichen, matten, braunen, blätterigen, zum Teil aber sandigen Tonschiefern unweit der Fuša Čafs zahlreiche Gerölle von Caprotinenkalk vor. Der Schiefer fällt im großen und ganzen gegen Südosten und oberhalb der Fuša Čafs kann man die Auflagerung des

Schiefers auf die erodierte Oberfläche eines massigen, grauen, etwas breccienartigen, gleichfalls südostfallenden Kalkes erkennen, der, überall von Tonschiefer überlagert, von der Fuša Čafs zur Kiša Ančitit hinabzieht. Kleinere und größere Brüche lösen die Schieferdecke des Korjaabhanges in einzelne Streifen.« Die von Nopcsa angegebenen Merkmale der Korjaschiefer beziehen sich auf die vorherrschende Ausbildung derselben. Mehrorts sieht man auch mit feinsten Glimmerschüppchen überstreute seidenglänzende Schiefer, die Farbe ist zuweilen grünlichgrau, die Absonderungsart erscheint manchmal auch griffelig oder engklüftig. Die Kluftflächen weisen teils rostfarbige, teils violettschwarze Überzüge auf. Neben sandigen Tonschiefern kommen auch braun anwitternde kubisch-klüftige Sandsteine vor, die auf den Kluftflächen gleichfalls dunkelviolette hämatitische Belage zeigen. In einem der Gräben bei Raja sieht man auch einen grauen, gelb anwitternden körnigen Kalk in dünnen Lagen mit dem Tonschiefer wechseln.

Der Kalk am Südhange der Korja ist durch das Vorkommen vieler, sich bei wenig gewundenem Verlaufe öfters kreuzenden weißen Kalzitadern ausgezeichnet, von denen die breiteren manchmal zu Knauern und Linsen anschwellen. Diese Aderung erwähnt Nopcsa von einem Vorkommen desselben Kalkes bei Kokdoda südlich des Drin. Die brecciöse Ausbildung gibt sich durch das Erscheinen eckiger dunkler Flecken und gesprenkelter Gesteinspartien deutlich zu erkennen. Stellenweise ist der Kalk an der Oberfläche mit kleinen gelben Kalzitdrusen besetzt oder mit kleinen Sinterbildungen überkrustet.

An den unteren Südhängen der Korja herrschen Schiefer weitaus vor. Man sieht sie in zahlreichen tiefen Wasserrissen bloßgelegt, zum Teil auch auf den diese Einschnitte trennenden Rücken zutage treten, wogegen die Hänge selbst größtenteils schuttbedeckt sind. Die Schiefer erscheinen verquetscht und verdrückt und weisen örtlich sehr wechselnde Lagerungsformen auf. Oberhalb der Kirche von Raja sieht man auch Sandsteine reichlich entwickelt. Unterhalb der Quelle Marnats treten massige, dickbankige Kalke auf, teils als lose Blockeinschlüsse in den Schiefern, teils als Klippen der erodierten Unterlage dieser Gesteine erkennbar. Sie zeigen stellenweise 30 bis 35° steiles Einfallen gegen OSO, wogegen die in ihre Hohlformen hineingepreßten und an ihren Riffen klebenden Schiefer mannigfach verbogen und zerknittert sind. Eine große, weiter oben anzutreffende, zum Teil zerworfene Kalkmasse fällt scheinbar steil bergwärts ein, doch dürfte es sich hier nicht um Schicht-, sondern um Kluftflächen handeln.

Bergaufwärts von diesem Kalkvorkommen folgt wieder eine Schieferzone, die mit vielen, von den höheren Hängen stammenden Kalktrümmern bestreut ist. Der hier anstehende Schiefer ist von etwas größerer Härte und von etwas festerem Gefüge als jener an den unteren Hängen und enthält keine Sandsteinlagen. Beim weiteren Aufstiege trifft man wiederum Kalk, der hier in dünne Bänke gut geschichtet ist und 40 bis 45° steil gegen SO bis SSO verflächt. Dieser Kalk läßt mehrorts eine Wechsellagerung mit Schieferbänken erkennen und auch die Auflagerung der vorgenannten festeren Schiefer auf ihn ist eine anscheinend konkordante. (Taf. I, Fig. II.) In diesem Kalke fand ich oberhalb des Quelltümpels am Wege von Raja zur obersten Alm an zwei Stellen sichere Rudistenreste, und zwar Längs- und Querschnitte von Radioliten. Betreffs der petrographischen Beschaffenheit stimmt der dünnbankige, mehrorts mit Schiefer wechselnde Kalk ganz mit dem massigen Kalke überein, der die erodierte Unterlage der Schiefer an den tieferen Korjahängen bildet. Nopcsa erwähnt das Vorkommen eines rudistenhaltigen Kalkeinschlusses in den blättrigen Tonschiefern von Trovna auf der Südseite des Drin.

Am Rande der über den Südhang der Korja hinstreichenden Geländestufe, über welche sich die Gipfelregion der Korja erhebt, zeigt der dünnbankige graue Kalk steiles ostsüdöstliches Fallen. Die grasige Stufe, welche als Almboden dient, verdankt dem Auftreten eines Schieferbandes ihr Dasein. Der aber nur an wenigen Stellen unter vielem Kalkschutt hervorsehende Schiefer fällt zunächst dem Stufenrande steil gegen NNW, dann nimmt er Seigerstellung an, um gegen den Fuß des Gipfelkammes hin wieder mäßig steil (30°) gegen NNW zu verflächen. (Taf. I, Fig. III.) Der hier anstehende Schiefer

ist sehr dünnplattig bis blättrig, rostbraun gefärbt und sieht wieder mehr den weicheren Tonschiefern an den unteren Hängen ähnlich. Die Gipfelregion der Korja baut sich aus einem Kalke auf, der von jenem an den unteren Hängen sehr abweicht. Man hat es hier mit einer eigentümlichen, wohl durch tektonische Vorgänge mitbedingten Gesteinsausbildung zu tun. Der Gipfelkalk der Korja erweist sich im frischen Bruche als feinflaserig bis körnig, zum Teil auch oolithisch, stellenweise breccienartig, er ist von grauer Farbe und von feinen Kalzitäderchen durchtrümert, seine gebleichten Anwitterungsflächen zeigen eine eigentümliche, aus unregelmäßigen, eckigen oder ovalen Flecken, parallelen feinen Streifen und gewundenen Bändern bestehende Zeichnung und erscheinen wie mit mehligem Staub bestreut. Mehrorts, so besonders gleich oberhalb des vorgenannten Schieferbandes führt der Kalk Durchschnitte von großen Bivalven, unter denen manche durch ihre Herzform an Megalodonten erinnern. Man hat es hier vermutlich mit jenem Gliede des tieferen Mesozoikums zu tun, das Nopcsa in seiner Übersicht der Schichtfolge in der nordalbanischen Tafel als »hellen geflaserten Kalk mit relativ häufigem Vorkommen von mehr als eine Spanne Durchmesser aufweisenden Megalodontenquerschnitten« anführt. In abgestürzten Blöcken sah ich solche Querschnitte auch noch unterhalb des Schieferbandes, das den Gipfelbau der Korja von ihrem Sockel trennt. Der besagte Kalk ist in mäßig dicke Bänke abgesondert, deren Schichtköpfe ziemlich scharfkantig erscheinen. Sein Einfallen ist am Hange ober jenem Gesteinsbande ein mittelsteil gegen SSO gerichtetes. Unterhalb des Gipfels maß ich 50 bis 60° steiles Verflächen gegen SO, auf diesem selbst wieder 45 bis 50° steiles nach SO bis SSO. Den Schiefern lagert der Kalk somit diskordant an. Der Kamm der Korja gipfelt in einer Anzahl kleiner felsiger Kuppen. Westwärts spaltet er sich in zwei Grate, die ein grasiges Hochtälchen umschließen.

Am Ostfuße der Korja Merturit, dem der von Raja nach Gegušenj führende Pfad folgt, zeigt sich nachstehender Befund: Zunächst nordwärts vom Kirchlein von Raja quert man mehrere verzweigte Wasserrisse, in denen stark gefaltete Tonschiefer und sandige Schiefer bloßliegen, die ein regionales ONO- bis O-Fallen zeigen. Die Rinnsale sind mit vielen Blöcken von grauem, weißgeädertem Kalke erfüllt, an denen stellenweise noch Reste der in sie hineingepreßten Schiefer kleben. Unterhalb des Kirchleins reichen die Schiefer bis zum Valbonafluß hinab, weiter nordwärts, wo dieser etwas gegen W ausbiegt, bestehen die stark zerklüfteten Uferfelsen aus verwittertem Peridotit, der vom linken Flußufer herübergreift. Ein etwa tausend Meter nordwärts vom Rajaner Kirchlein sich an den Ostfuß der Korja lehnender Hügel baut sich gleichfalls aus Olivinfels auf, der auch hier sich vom frischen Gestein scharf abhebende Verwitterungskrusten zeigt. Eine hinter diesem Hügel höher aufragende Kuppe und der Abhang weiter talaufwärts gehören der Schieferzone an. Im Hintergrunde der Waldschlucht, die gleich südwärts vom Olivinfelshügel gegen den Valbona hinabzieht, steht aber schon Kalk an, der weiter talaufwärts dann bis zum Flusse herantritt. Dieser Kalk ist sehr feinkörnig, im Bruche grau, sehr licht anwitternd, ohne deutliche Schichtung und führt stellenweise viele, aber nicht näher deutbare Durchschnitte von Bivalven. Seine Lagebeziehung zum Tonschiefer läßt sich nicht erkennen.

In einem dicht bewaldeten Graben, der nicht weit taleinwärts vom Olivinfelshügel zum Valbonaflusse hinabzieht, tritt wieder wechselnd steil gegen ONO und NNO verflächender Tonschiefer auf, der dünne Lagen eines harten, eisengrauen und mattglänzenden Schiefergesteins enthält. Er wird bald wieder durch Kalk ersetzt, der an einer Stelle 65° steiles NNO-Fallen zeigt und einen größeren Geländevorsprung formt. (Taf. I, Fig. VI.) Dann folgt nochmals Tonschiefer, der an den Scheitel des vom Unterlaufe des Valbona beschriebenen, gegen W konvexen Bogens die steilen Uferböschungen bildet, und hierauf neuerdings ein Kalk von ähnlicher Beschaffenheit wie in den vorgenannten Zügen Dieser formt, mittelsteil gegen NNW verflächend, einen bis an den Valbonafluß vortretenden Felssporn Jenseits dieses Spornes kommt man zu einem Quelltopf, dessen Wasser bei hohem Stande über die den Topf vom Flußbette des Valbona trennende Barre überfließt, bei tiefem Stande aus dem Fuße dieser Barre in den benachbarten Flußlauf gelangt. Gleich nordwärts von diesem Quell zeigt sich

nochmals am Ufer ein räumlich beschränktes Vorkommen von Schiefer, das sich aber nicht weit am Abhang hinan verfolgen läßt. Man hat es bei diesem wiederholten Wechsel von Tonschiefer und Kalk wohl mit durch Staffelbrüche bedingten Wiederholungen zu tun, wie sie Nopcsa auch auf der Südseite der Korja sah.

Taleinwärts von dem letztgenannten kleinen Schiefervorkommen führt der dem Westufer des Valbona folgende Weg eine längere Strecke über Kalk. Derselbe weist hier jenes brecciöse Gefüge und jene Kalzitdurchtrümerung auf, welche die kalkige Schieferunterlage an den Hängen ober Raja zeigt. Der Übergang des lichten in den dunkelgrauen Kalk erfolgt rasch, läßt sich aber nicht genauer verfolgen, da man nur einzelne kleine Riffe von beiden Gesteinen im Schuttboden bloßliegen sieht. Der graue weißgeäderte Kalk hält bis zur schluchtartigen Mündung des auf der Nordseite der Korja eingeschnittenen Grabens an, wo er in Wechsellagerung mit braunem Tonschiefer tritt. Gleich weiter nordwärts tritt die Schieferhornsteinformation zutage, die jenseits des Geröllbettes von Gegušenj von Olivinfels abgelöst wird. Die flußaufwärts von der Mündung dieses breiten Wildbachbettes folgende Strecke des Valbonatales ist eng, felsig und unwegsam.

Das untere Valbonatal. Osthang.

Der Hügel Karma Krajsnić, welcher östlich von der Mündung des Valbonatales aufragt, ist mit dichten Waldungen bedeckt, an seinem vom Valbona und vom Drin bespülten West- und Südwestfuße bieten sich aber viele Aufschlüsse dar. An der Stelle, wo der Weg von Firza ins Valbonatal mittels einer Fähre den Drin quert, etwa 1 *km* aufwärts vom Zusammenfluß des Valbona mit dem Drin, steht am rechten Ufer dieses letzteren ein sehr dunkler, knollig abgesonderter Schiefer an, welcher mäßig steil gegen ONO verflächt. Er enthält weiße Kalkspatadern und graue kalkige Linsen und Nester, die auch von weißem spätigem Kalk durchtrümert sind. Der Ufersaum ist da mit Blöcken eines grünlichgrauen, ockergelb verwitternden Olivin- und Pyroxengesteins übersät.

In der Waldschlucht, welche gleich flußaufwärts von der vorgenannten Fähre in den rechten Uferhang des Drin eingreift, sieht man beiderseits an jähen Böschungen steil gegen NNO einfallende Schiefer aufgeschlossen, die mit grauen Kalken wechseln. Diese Schiefer sind grobblättrig und von silbergrauer Farbe und so von den vorgenannten in Textur und Farbenton verschieden. Über diesen Schiefern zeigen sich rechterseits am Hange oberhalb des Drin harte, dunkelgraue Sandsteine aufgeschlossen, noch höher oben trifft man das die Blöcke am Drinufer formende Massengestein verwittert in vielen Trümmern an. Das durch die Schlucht dem Drin zustrebende Bachrinnsal ist mit Serpentinblöcken erfüllt. Talabwärts von der Mündung dieses Rinnsales steht an der rechten Uferböschung des Drinflusses grünlichgrauer Schiefer im Wechsel mit grauem, klüftigem Kalke an. Das Schichtfallen ist auch hier zumeist ein steil gegen NNO gerichtetes. Eine der den Schiefer durchziehenden Kalkbänke formt eine von Epheu überrankte Felswandstufe, an deren Fuß dicht am Flußufer Quellwasser entspringt. Am Felssporne östlich von der Mündungsstelle des Valbona in den Drin steht ein im Bruche dunkelgrüner, außen grünlichgrauer, von weißem Kalkspate durchäderter, feinschuppiger Schiefer an. Er ist sehr stark zerklüftet, undeutlich geschichtet und scheint mittelsteil gegen Ost zu fallen. Dieser Schiefer macht den Eindruck eines sehr gequälten und zerrütteten Gesteins. Nach oben zu geht er in eine ganz zermürbte, von Kalzitbändern durchtrümerte weiche Gesteinszone über, die von dunklem Knollenschiefer überlagert wird. Die Grenze gegen letzteren ist scharf. (Taf. I, Fig. I.)

Innerhalb dieses Knollenschiefers liegt eine kleine Masse von sehr dunklem, braun anwitterndem feinkörnigem Sandstein, welcher von großer Härte ist und einen Zerfall in scharfkantige Trümmer zeigt. An der linken Uferböschung des Valbona zeigt sich flußaufwärts vom eben genannten Sporn schwarzer, glänzender, von Adern weißen Kalkspates durchzogener knolliger Tonschiefer. An einigen Stellen ist er zum Teil mit brauner Verwitterungsrinde behaftet, anstehend zu sehen, reichlich trifft man ihn in losen Massen. Über ihm folgt Olivin- und Pyroxenfels, der sich weiter talaufwärts zum

Flußufer herabsenkt und so den Aufschluß von Knollenschiefer zum Auskeilen bringt. Dieser Schiefer entspricht dem von Nopcsa als Gjanischiefer bezeichneten und von ihm als Reibungs- und Quetschprodukt erkannten eigentümlichen Gesteine. Das Übergreifen dieses für die Tektonik Nordalbaniens hochbedeutsamen Gesteins auf das östlich vom Valbona liegende Gebiet ist vom genannten Forscher für den Südfuß des Hügels Karma Krajsnić bereits festgestellt und für dessen Westfuß auch schon angenommen worden. Auf p. 46 seiner Arbeit über die Stratigraphie und Tektonik des Wilajets Skutari heißt es: »Nördlich von Poravi ist am Fuße des Karmahügels im Stammesgebiete vom Krajsnić tatsächlich unmittelbar unter dem Serpentin Gjanischiefer vorhanden. Auf der jene Arbeit begleitenden Kartenskizze tritt der Aufbruch mittel- und älterer mesozoischer Schichten von Thaci, beiderseits von Zonen von Gjanischiefer besäumt, bis an den Drin heran, wobei die breite westliche dieser Schieferzonen gleich östlich von Raja diesen Fluß erreicht. Auf der neuen Kartenskizze Nopcsa's ist jener Aufbruch auf das rechte Drinufer hinübergezogen, jedoch so, daß er dort rasch zum Auskeilen kommt. Der Besuch der Karma Krajsnić führte somit zu einer Bestätigung des vom genannten Forscher gegebenen kartographischen Bildes.

Das Massengestein, unter welchem der Gjanischiefer kurz vor der Mündung des Valbona auftaucht, begleitet die linksseitige Uferböschung nur eine kurze Strecke weit. Der aus dem östlichen Talhange weit vortretende Felssporn, welcher eine starke westliche Ausbiegung des Valbonalaufes kurz oberhalb seiner Mündung mit sich bringt, besteht aus Korjaschiefer. Dieser zeigt hier jene Ausbildung, die an den oberen Hängen der Korja herrscht; der ihn begleitende graue, weißgeäderte Kalk tritt hier aber nicht in zwischengeschalteten Bänken, sondern in unregelmäßig eingelagerten Linsen auf. (Taf. I, Fig. X.) Solche Linsen sieht man an der Uferböschung gleich flußabwärts von der äußersten Spitze des Felsspornes, die selbst aus einer vom Schiefer umwallten Kalkmasse besteht. Der Schiefer ist mehrorts gefältelt und verbogen. Die Richtung des 30 bis 40° steilen Verflächens schwankt zwischen O und NO. Die vorgenannte Kalkmasse fällt gegen ONO ein. Talaufwärts vom Felssporne tritt der Olivinfels wieder an das linke Flußufer heran. Er greift dort, wie erwähnt, auch auf die rechte Talseite hinüber. Die Lagebeziehung des Schiefers zum benachbarten Peridotit ist nicht zu ersehen, da Schutt und dichtes Buschwerk die Gesteinsgrenze verhüllen. Ein zweites Übergreifen der Olivingesteine auf das rechte Ufer des Valbona findet — wie auch schon angegeben wurde — etwa 1 *km* nordwärts vom Rajaner Kirchlein statt. Von da talaufwärts bildet dann das Flußbett selbst die Grenze zwischen den sedimentären Schichten und dem Intrusivgebiete bis zur Mündung des Wildbaches von Gegušenj, wo ein neuerliches Übergreifen der Olivin- und Pyroxengesteine auf die westliche Talflanke erfolgt.

Das untere Valbonatal enthält im Gegensatz zum mittleren Talabschnitte nur junge fluviatile Bildungen. Flußabwärts vom genannten Sporne ist auf dem linken Ufer eine 2 *m* hohe Lehmterrasse sichtbar. Eine größere, aus Schotter bestehende Terrasse zeigt sich in der Erweiterung der Talsohle bei Dušaj, 2 *km* talaufwärts von Raja. Rezente Flußanschwemmungen sind wohl reichlich vorhanden, doch treten sie nicht sehr hervor, da der Valbona ein das ganze Jahr hindurch sein Bett zum großen Teil ausfüllendes Gewässer ist. Er tritt hierdurch in Gegensatz zu seinem größten Nebenflusse, dem Tropoja, welcher im Sommer sehr wasserarm wird und alsdann riesige Geschiebemassen bloßlegt. Außer den nur schwach entwickelten Terrassen im Talgrunde sieht man in der Mündungsregion des Valbona auch noch Anzeichen einer Hochterrasse, welche in das Anstehende einschneidet. Am deutlichsten läßt sich eine Stufenbildung auf dem linken Hange des Drintales bei Firza und Gropa wahrnehmen. Auf dem rechten Ufer des Valbona ist in den Profilen der Gehängevorsprünge nordwärts von Raja eine leichte Einkerbung erkennbar. Auch auf der Westflanke der engen Strecke des Valbonatales zwischen Demusaj und Grigaj sind Andeutungen einer höheren früheren Talsohle vorhanden. Das Gelände flacht sich dort unterhalb der mittleren Gehänge ab und senkt sich dann steil in die Schlucht hinab, zu der sich die Talrinne des Valbona oberhalb der Mündung des Gegušenjbaches verengt. Auf der Strecke zwischen der Talweitung von Dušaj und der eben genannten Mündungsstelle ist das

Flußtal auch schon eng und der Valbona reißend. Vor der noch stärkeren Einengung weiter flußaufwärts kommt es aber noch zur Entwicklung einer kleinen Talsohle, die einem sehr flachen Schotterdelta des Gegušenjbaches entspricht.

Das mittlere Valbonatal.

Das mittlere Valbonatal stellt eine weite Mulde dar, die zwischen den Vorhöhen des Gebirgskammes der Stüla Gris und dem ostwärts von diesen Höhen gelegenen Hügellande liegt. Der Fuß der westwärts aufragenden Höhen gibt dieser Mulde nach dieser Seite hin einen deutlichen Abschluß. Gegen Osten und Norden ist sie aber nur sehr undeutlich begrenzt und geht hier in das sich zu ihr hin öffnende Talbecken von Lusz und in das in sie mündende Tropojatal allmählich über. Ersteres erscheint so wie eine Nische in der östlichen Talwand, letzteres erweist sich aber als die nördliche Fortsetzung der Valbonamulde. Das vom Oberlaufe des Valbona wild durchschäumte Tal stellt dagegen nur einen engen westlichen Ast der Haupttalmulde dar. An den Westhängen des mittleren Valbonatales kommen die als Schieferhornsteinformation zusammengefaßten Bildungen zu mächtiger Entwicklung. Die über diesen Hängen sich erhebenden Berggipfel werden durch mesozoische Kalk- und Dolomitmassen geformt. Das hohe Hügelland im Osten baut sich ganz aus Olivin- und Pyroxengesteinen auf. Sie reichen großenteils noch auf die rechte Talflanke hinüber, das Fußgestell der Schiefer und Kalkberge bildend. Der Talgrund kommt so noch in das Gebiet der Intrusivgesteine zu liegen. Da diese Gesteine im Westen aber doch nur eine geringe Rolle spielen und das Gesamtbild des Geländes kaum beeinflussen, erscheint das mittlere Valbonatal als schönes Beispiel jener Art von Tälern, in welchen ein durch geologische Verschiedenheit bedingter großer landschaftlicher Gegensatz zwischen beiden Talseiten besteht. Da die geologische Beschreibung der Talhänge mit jener der in sie einschneidenden Seitengräben zusammenfällt, kann in diesem vorausgehenden, das Haupttal betreffenden Abschnitte nur die Ausfüllung des Talgrundes Gegenstand der Besprechung sein.

Diese Ausfüllung besteht aus flach gelagerten Konglomeraten, wie solche mehrorts in Albanien und in den anstoßenden Gebieten angetroffen werden und für die jüngste geologische Geschichte dieser Länder sehr bedeutsam sind. Sie füllen den Grund des mittleren Valbonatales fast vollständig aus. Der Hauptfluß dieser Talmulde, die Endstücke der ihm rechts zustrebenden Bäche und die große östliche Ader des Valbonaflußes, der Tropoja, haben in die konglomeratische Decke tiefe Einschnitte gegraben, zwischen denen sich ganz flaches Gelände ausdehnt. Flußabwärts reichen diese Konglomerate bis an die Mündung des Wildbaches von Grigaj, wo das Valbonatal die auf seiner engen Strecke unterhalb Gegušenj eingehaltene Richtung gegen SSW mit einer westsüdwestlichen vertauscht. Sie sind hier aber auf die rechte Talseite beschränkt und bilden auch hier nur einen schmalen, von zwei Bachrinnen durchquerten Ufersaum längs der aus Peridotit bestehenden untersten Talwandung. Zur Linken reichen in diesem Talabschnitt die Massengesteine bis an das breite Flußbett des Valbona, welches hier die aus der Mulde von Pjani kommende Busterica aufnimmt. An der Mündung dieses Wasserlaufes zeigt sich eine mächtige Entwicklung von rezenten Bachgeschieben und eine Uferbank von älterem Kalkschotter, der durch seine blendend weiße Farbe gegen das rötlichgelb verwitternde Gebirge scharf absticht. Die Konglomerate rechts vom Bette des Valbona bestehen aus nicht besonders großen Kalkgeschieben, die unter Beimengung von Quarz- und Hornsteinkieseln und von Schieferbrocken durch ein kalkiges Zement verbunden sind.

Von der Bustericamündung bis zur Vereinigungsstelle des Valbona und Tropoja besteht auch das rechte Flußufer wieder aus Olivinfels, von da talaufwärts trifft man aber beiderseits des mittleren Valbona nur noch Konglomerate an. Zur Rechten bilden sie da eine steile, stellenweise überhängende Uferböschung, links erhebt sich ein von Felsbändern durchzogener hoher Uferhang. Er entspricht dem Westabfalle eines durch die genannten beiden Flüsse aus der Konglomeratdecke herausgeschnittenen Tafelberges, welcher sich entsprechend der Verlaufsrichtung jener Flüsse in Nordsüdrichtung erstreckt, das mittlere der drei durch diese Zerschneidung zustande kommenden Deckenstücke bildend.

Das westliche dieser Stücke, das als eine an den Westabhang des mittleren Valbonatales sich anlehnende Terrasse erscheint, wird selbst wieder durch tiefe Einrisse, die sich teils erst in dieser selbst entwickeln, teils die Enden der aus dem Gebirge kommenden Gräben sind, in mehrere Teile gegliedert. Südwärts von Bunjai breitet sich über die konglomeratische Decke viel rostfarbiger Verwitterungslehm der westlich angrenzenden Olivinfelshügel. Sehr reichlich trifft man hier auf sekundärer Lagerstätte Quarztrümmer an.

In dem Endstücke des Grabens nördlich von der Djamja von Bunjai stehen die zu Konglomerat verfestigten alten Schotter beiderseits in dicken, flach liegenden Bänken an. Sie gehen talaufwärts, wo sie zur Bildung eines Wasserfalles Anlaß geben, in grobe Breccien über. In einem tiefen Cañon mit teilweise senkrechten Wänden durchbricht der aus der großen Schlucht von Marghegai herabkommende Bach die alte Flußterrasse am Westufer des Valbona. Hier kann man den mit Annäherung an das Gebirge sich vollziehenden Übergang des Konglomerates in eine Trümmerbreccie gut verfolgen. Weiter nordwärts folgt dann noch ein kleiner Cañon in der Konglomeratterrasse, den man wie die beiden früheren am Wege von Bunjai nach Djakova durchqueren muß, ehe man den Valbona in tief eingeschnittenem Bette überschreitet. Der Steilabfall der rechten Uferseite ist hier in zwei breite Stufen gegliedert. Auch an der linken Uferböschung läßt sich weithin ein Fortstreichen zweier Felsbänder erkennen. Man trifft da ein sehr grobes Konglomerat aus faust- bis kopfgroßen Geschieben. In seiner Zusammensetzung spiegelt sich die große lithologische Mannigfaltigkeit des südlichen Vorlandes der Skülsenkette wieder. Als Kittmasse wird in der Gegend um Bunjai oft reiner Kalksinter angetroffen.

Das wie ein langgestreckter Tafelberg erscheinende Mittelstück der Konglomeratdecke zwischen Valbona und Tropoja ist großenteils ganz eben und mit von Eichenwald beschatteten Dickichten von Adlerfarn überwuchert. Der die rechte Uferwand der letzten Strecke des Tropoja bildende Südabfall dieses Tafelberges ist sehr reich an den für junge Konglomerate oft bezeichnenden Reliefformen, wie kleinen Höhlen, Hohlkehlen und Gesimsen. Der linke Uferhang gegenüber baut sich aus Massengesteinen auf. Bemerkenswert ist das Aufquellen von Grundwasser im breiten Endstücke des Geschiebebettes des Tropoja und im Flußbette des Valbona gleich oberhalb der Mündung des ersteren. Flußaufwärts von der Einmündung der Bistrica bleibt das Tropojabett noch lange ziemlich breit und von steilen Konglomeratstufen begleitet. Nicht weit nordwärts von der Stelle, wo der Weg von Bunjai nach Djakova nach Überquerung des zwischen Valbona und Tropoja stehenden Tafelberges an dessen Ostrand gelangt, endet dann die Konglomeratablagerung als zusammenhängende Decke; in kleinen Resten läßt sie sich aber noch weit in das untere Tropojatal hinein verfolgen. Der zur Linken des Tropojabettes ausgebreitete östliche Teil der Konglomeratdecke reicht bis zum Westfuße des Berges Kodra Lusz und der ihm nordwärts vorgelagerten Höhen. Gegen Süd fällt dieses ausgedehnte, ebene bis flachwellige Gelände zum breiten Bachbette der Bistrica ab. An diesem Steilabfalle zeigt sich längs der untersten Verlaufsstrecke der Bistrica eine bedeutende Lehmentwicklung die — obwohl im Aussehen den Verwitterungsschichten neogener Mergel ähnelnd — aus jüngerer Zeit stammen dürfte Von Gesteinsarten sind in den alten Schottern dieser Gegend neben Schiefern auch Quarzkonglomerate viel vertreten.

Das obere Valbonatal.

Das obere Valbonatal erweist sich als ein enger und sehr tiefer Einschnitt im Gebirge westlich von der weiten Mulde, die der Mittellauf des Valbona in Nordsüdrichtung durchfließt. Es bildet nur in hydrographischer Beziehung den oberen Abschnitt des Valbonatales; als orographisches Anfangsstück dieses Tales könnte man wohl eher das untere Tropojatal bezeichnen, da es als unmittelbare rückläufige Fortsetzung des ersteren erscheint. Lange galt das obere Valbonatal auch nur als die bedeutendste der in den mittleren Talabschnitt von Westen her einmündenden Felsschluchten. Erst spät rang sich die Ansicht durch, daß es sich da um eine sich sehr weit gegen West erstreckende Talfurche handle, und als dieser Fortschritt in der Erkenntnis schon gewonnen war, fiel er wieder der

Vergessenheit anheim, bis erst in jüngster Zeit der richtige Sachverhalt neuerdings zur Klarstellung gelangte. (Siehe Baron Nopcsa: Zur Geschichte der Kartographie Nordalbaniens. Mitteilungen der k. k. Geographischen Gesellschaft, Wien 1916.) Das obere Valbonatal entwickelt sich in dem vormals als Prokletje bezeichneten zentralen Knoten der Nordalbanischen Alpen, beschreibt zunächst einen gegen Nord konvexen Bogen und wendet sich dann gegen Ost, um so unter rechtem Winkel auf die nordsüdstreichende breite Rinne des mittleren Valbonatales zu stoßen. An der Stelle, wo der vorgenannte Bogen mit dem westoststreichenden Talabschnitt zusammentrifft, zweigt rechts ein Seitental ab, aus dem man über einen Sattel, die Čafa Drošks in das Curajtal gelangt. Ich konnte in das obere Valbonatal bis zur Einmündung jenes Seitentales vordringen.

Der äußere Teil der bis dahin durchmessenen Talstrecke ist eine wildromantische Schlucht, der innere ein von steil aufragenden Bergen eingerahmtes enges Tal, in dessen Grund die Hütten von Dragobjs stehen. Vor ihrer Mündung in das mittlere Valbonatal verengt sich die genannte Schlucht zu einer beiderseits von senkrechten Felswänden begrenzten Klamm. Zur Rechten dieser Klamm steht ein tiefgrauer, weißliche, wie mit Staub bestreute fleckige und gestriemte Anwitterungsflächen zeigender Kalk an, dessen scharfkantige Bänke — insoweit sie nicht lokal zerworfen sind — steil gegen NNW einfallen. Er sieht sehr dem die Gipfelregion der Korja aufbauenden Kalke ähnlich, enthält aber keine Fossilien. Taleinwärts von der Klamm bestehen die zu beiden Seiten des mit Blockmassen erfüllten Flußbettes ansteigenden Gehänge großenteils bis weit hinauf aus Schutt und erst hoch oben beginnen die Felswände. In diesem Schutte trifft man neben vielen Trümmern des soeben genannten Kalkes auch solche von hellgrauem körnigem und von dichtem, gelblichweißem, rotgestriemtem Kalke sowie solche von grauem Platten- und Schieferkalk; auch der dunkelgraue, weißgeäderte Kalk, wie er an den Abhängen der Korja auftritt und dort als zur oberen Kreide gehörig erkannt wurde, ist hier vertreten. Es scheint hier sonach ein wiederholter und vielleicht durch Störungen bedingter Gesteinswechsel Platz zu greifen. Die wenigen aus den Schutthalden aufragenden Felsen scheinen aus steil aufgerichteten Schichten zu bestehen.

Weiter taleinwärts reicht dann der Fels am rechten Uferhange mehrmals, am linken eine kurze Strecke weit bis in die Nähe des stark eingeengten Flußbettes hinab. An dem rechterseits am meisten vortretenden Felssporn steht gleich oberhalb einer aus Blockschutt austretenden Quelle dichter bis sehr feinkörniger, hellgrauer Kalk an, der 30 bis 40° gegen NNW verflächt. Dann folgt ein Schrofen aus dunkelgrauem, von weißem Kalzit durchtrümertem Kalke mit nordwestlichem Fallen. In ihrem obersten Teile engt sich die Talschlucht wieder zu einer Klamm ein. Auf der Nordseite, wo gegenüber dem vorbezeichneten Sporne wieder ein breiter und hoher Schuttsaum vorhanden ist, treten nun senkrechte ja selbst überhängende Wände bis hart an das Ufer heran und auch auf der südlichen Seite bauen sich hier sehr steile Felsgehänge empor. Vorherrschend ist da der graue, weißgeäderte bankige Kalk; er fällt gegenüber den jähen Abstürzen der nördlichen Talwand 30 bis 40° gegen SW, weiter einwärts 40° steil gegen WSW ein. Untergeordnet erscheint ein schiefriger, schmutzig gelblich anwitternder Kalk und ein rötlich gestriemter Kalk, beide ohne organische Reste.

Flußaufwärts von der vorgenannten Klamm erweitert sich der Einschnitt des Valbona zu einem kleinen, von sehr steilen Hängen eingerahmten Talboden. Weiterhin folgt links vom Flusse ein aus enger Schlucht herabkommender Schuttkegel, dann ein jäh aufstrebender Bergvorsprung, der durch einen tiefen Spalt von einem nächsten Vorsprung getrennt ist. Auf der gegenüberliegenden Talseite treten zwei Felssporne bis dicht an den Fluß heran, die eine halbrunde Gehängenische umschließen, in welcher die Djamja von Dragobjs steht. Der westliche dieser Sporne baut sich aus 50° steil gegen N einfallendem grauem Kalke auf; weiter taleinwärts folgen 60° steil gegen N bis NNW geneigte Plattenkalke als faziell abweichende Entwicklung des grauen, weißgeäderten Kalkes. Am gegenüberliegenden Ufer treten schmale Riffe und Felsrippen vor, die man als Schichtköpfe sehr steil nach N bis NW geneigter Kalke erkennt. Streckenweise scheint Seigerstellung zu herrschen; dann sieht man die Kalke steil gegen den Berg zu und auch steil talwärts einfallen. Es findet hier eine starke Ver-

knetung und Schichtenverdrückung statt. (Taf. I, Fig. VIII.) Am Eingang in die vorerwähnte Gebirgsspalte, welche dem Talsporne westlich von der Djamja gegenüberliegt, scheinen, soweit sich das vom anderen Ufer aus erkennen läßt, steil aufgerichtete nordsüdstreichende Kalkschichten anzustehen. In den Trümmerhalden, die den Fuß des rechts von der genannten Gebirgsspalte aufstrebenden Gebirgspfeilers umhüllen, herrscht der graue, weißaderige Kalk vor. Er baut wohl jenen Pfeiler und die ihm benachbarten Talwände auf. Daneben trifft man rötlichgrauen oolithischen Kalk, gelblichgrau anwitternden Kalkschiefer und weißen, zuckerkörnigen Dolomit, vereinzelt auch grünen Schiefer der Hornsteinformation und ein sehr eigentümliches Gestein, einen Diaphthorit von Granitgneis. Dieser muß gleich dem Grünschiefer — aus dem obersten Valbonatale stammen. (Dünnschliff Nro. 2984)

Taleinwärts von Dragobjs hält am südlichen, zum Teil schuttreichen Talgehänge das steile nordnordwestliche Schichtfallen an. Man trifft dort grauen Kalk, der mit Kalkschiefer und mit blättrigem grünlichgrauem Schieferton wechselt, der selbst wieder kleine Kalklinsen enthält. (Taf. I, Fig. IX.) Der gestriemte und fleckige Flaserkalk der Korja ist hier, wie auch bei Dragobjs, in vielen losen Stücken, aber nirgends anstehend zu sehen. Er muß da wohl den höheren Gebirgsteilen entstammen. Kurz vor der Mündung des schon früher erwähnten Seitentales legen sich zwei Riegel quer über den Talgrund; es scheinen wohl nur deformierte Schuttkegel zu sein. Auch stufenförmige Geländeformen welche sich hier an die Talwände lehnen, mögen angeschnittene solche Kegel sein, doch birgt das obere Valbonatal auch Flußterrassen. Ein aus grobem, zu Konglomerat verfestigtem Schotter bestehender Ufervorsprung findet sich als Rest einer Terrasse in der schluchtartigen Talstrecke etwas unterhalb der früher erwähnten Stelle, wo am nördlichen Gehänge die Felsen bis zum Bache hinabreichen Eine kleine Bachschotterterrasse schaltet sich taleinwärts von der Djamja von Dragobjs zwischen das rezente Bachbett und den Schuttsaum an der nördlichen Talwand ein. Nicht unerwähnt mag bleiben, daß das obere Valbonatal aufwärts von Dragobjs den Eindruck eines alpinen Trogtales macht. Die beiderseits vortretenden Felssporne zeigen Stufungen und Kerben, aus denen man, wenn man wollte, eine Ineinanderschachtelung von mehreren Taltrögen herauszulesen vermöchte. Das schon genannte südliche Seitental birgt in seinem untersten Teil einen kleinen alluvialen Boden, sein Hintergrund erscheint von hohen Kalkbergen umrahmt. Den Talboden von Selimaj am Scheitel des vom obersten Valbona beschriebenen, gegen S offenen Bogens umgibt gleichfalls ein Kranz von schroffen Gipfeln, wie ich aus einer Photographie ersah, die von einer Militärpatrouille, die kurze Zeit nach meinem Besuche von Dragobjs bis Selimaj vordrang, aufgenommen wurde. Der Westast jenes Bogens fällt noch in den Bereich des schon von Nopcsa aufgenommenen Gebietes. Der Gebirgskamm, an dessen Osthang der Hauptast des Valbonatales seinen Ursprung nimmt, bezeichnet im Bereiche der Einsattlung Čafa Valbons den Abschluß eines vom genannten Forscher auf der Westseite jenes Kammes aufgenommenen Triasprofils und das sich von jenem Sattel bis zur Čafa Jeserze hinziehende Gebirgsgelände wurde von ihm als ein Fundgebiet von Liasschichten erkannt. (Zur Stratigraphie und Tektonik des Vilajets Skutari in Nordalbanien, p. 11 u. 9.)

Der Graben östlich von der Čafa Kolčit.

Der erste größere Geländeeinschnitt auf der Westseite des unteren Valbonatales ist der zu der Čafa Kolčit hinanziehende Graben. Sein rechtsseitiger Hang wird durch die Nordflanke der Korja Merturit, sein linksseitiger Steilhang durch den Südabfall der südlichen Vorberge der Stüla Gris gebildet. In seinem untersten Abschnitte engt sich dieser Graben zu einer Felsklamm ein, die gleich talabwärts von dem Dorfe Gegušenj in das untere Valbonatal ausmündet. Zur Linken des geröllerfüllten Bachbettes im Grunde dieser Klamm steht steil gestellter, parallel zum Hange streichender Tonschiefer an, zur Rechten der Klammündung klebt ein Rest von solchem Schiefer einer Felsmasse von grauem Kalke an, der steil gegen ONO verflächt. (Taf. I, Fig. XI.) Weiter drinnen in der Klamm sieht man

dann rechterseits den Schiefer mit grauem, weißgeädertem Kalke mehrmals wechsellagern und muß hier Gleichaltrigkeit dieser beiden am Südhang der Korja in diskordantem Schichtverbande anzutreffenden Gesteine anerkennen. Der Tonschiefer ist hier dunkler als bei Raja, von feinen weißen Kalkspatäderchen durchtrümert und enthält viele mannigfach gewundene und verbogene härtere Sandsteinbänkchen eingeschaltet, die gleichfalls eine Durchtrümerung mit Kalzit aufweisen und mit ockerfarbigen Verwitterungskrusten überzogen sind.

Diese Schichten ziehen sich in das oberhalb der Mündungsklamm gelegene, minder enge Grabenstück hinauf. Am Südhange desselben hindert dichter Wald großenteils einen näheren Einblick in die geologischen Verhältnisse. An den höheren Teilen dieses Hanges sieht man Kalkzüge auftauchen und dann gegen die Korja hinan den Kalk zum herrschenden Gestein werden. Auf der linken Grabenseite sind die steilen unteren Lehnen teilweise mit Schutt bedeckt; höher oben trifft man hier im äußeren Teil des Grabens noch die Schieferhornsteinformation an, eine bunte Mischung von Gesteinen, graue, grüne, dunkelrote und violette Schiefer, graue, weiße, rot und weiß gefleckte und gebänderte Marmore, graue und grüne Kalkschiefer und Glimmerkalke sowie Jaspisse kann man am Wege, der sich hoch über dem Schluchtgrunde am Nordabhang des Grabens hinzieht, sammeln. Bei dem Versuche einer Feststellung der Schichtfolge sieht man sich aber durch reiche Schuttentwicklung und Waldvegetation gestört.

Dieselben Umstände behindern auch eine Erkenntnis der Verhältnisse an der Grenze der Schieferhornsteinformation gegen die Gesteinsentwicklung auf der Korja. Jenseits der durch ein Haufwerk von Lehm und Felsschutt gekennzeichneten Bahn eines Bergschlipfes stößt man auf dem vorbenannten Wege schon auf braun anwitternde Tonschiefer. Sie sind da stark zerknittert, lassen aber doch ein sanftes Einfallen gegen NNO bis N erkennen. Zum Teil als Ein- und Zwischenlagerung, zum Teil aber auch in dem am Südhange der Korja auftretenden Verbandsverhältnisse erscheinen in diesen Schiefern graue, weißaderige Kalke. Es folgt nochmals reiche Schuttbedeckung mit Gesteinen der Schieferhornsteinformation und dann wieder sanft gegen N verflächender Korjaschiefer und eine breitere Zone von hellgrauem Kalk. Die Wurzelregion des Grabens östlich von der Čafa Kolčit ist ganz in Schiefer eingefurcht, dem sich auch Sandstein einschaltet, und zwar in Form kleiner Linsen, aber nicht in länger fortstreichenden Zügen. Man trifft solchen Sandstein, der im Gegensatz zu dem blättrig oder griffelig zerfallenden Schiefer eine polyedrische Klüftung zeigt, gleich oberhalb der höchsten Quelle, in deren Nähe ich mein Lager aufschlug, und dann noch mehr gegen den Sattel zu Die Streichrichtung der Schiefer schwankt hier zwischen W—O und SW—NO, die Fallwinkel sind gleichfalls wechselnd. Bei einem ebenflächig spaltenden Glanzschiefer nicht weit unterhalb des Sattels kurz vor einer Anhäufung von Trümmern grauen Kalkes ergab sich 40° steiles Verflächen gegen SSO.

Die Čafa Kolčit ist eine kleine Scharte zwischen zwei sich zu den beiderseits benachbarten Berggipfeln hinanziehenden Rücken. Der gegen Nord ansteigende trägt drei Felskuppen, der die Verbindung mit der Korja im Süden herstellende Rücken zeigt eine Spaltung in zwei Wälle, deren westlicher erst etwas oberhalb der tiefsten Einsattlung beginnt. Diese schneidet in eine steil aufgebogene Felsmasse von dünngeschichtetem, hartem, scharfkantige Schichtköpfe zeigendem Sandsteinschiefer ein. (Taf. I, Fig. V). In Blöcken findet sich dort auch ein breccienartiger, von Eisenocker überkrusteter Kalk mit Schieferlinsen und großen Trümern von Kalzit, der eine höchst vollkommene rhomboedrische Spaltbarkeit aufweist. Von den beiden Wällen auf der Südseite des Sattels besteht der östliche, bis an die Scharte reichende, zumeist aus Schiefer, der westliche baut sich aus einer Kette von Kalkklippen auf, deren erste einen schroffen Felsturm formt. Der diese Klippen bildende Kalk ist teils grau, breccienartig, teils rein weiß, subkrystallin. Sein Einfallen scheint ein steil gegen SSO gerichtetes zu sein. Das Hügelchen gleich nordwärts von der Scharte besteht aus einem äußerlich gebleichten, im Bruche dunkelgrauen oolithischen Kalk, der anschließende zweite Hügel baut sich großenteils aus Schiefer,

die große dritte Kuppe vorzugsweise aus Kalk auf. Obschon die ganze Sattelregion gut aufgeschlossen ist und ein zu ihrer Längserstreckung queres Streichen zu vermuten ist, läßt sich doch keine deutliche Schichtfolge erkennen. Man gewinnt den Eindruck einer stark gestörten Region.

Auf der linken Seite des im Vorigen beschriebenen Grabens zieht sich das Gelände vorerst sanft, dann steil zu den südlichsten Vorbergen der Stüla Gris hinan. Die sanft ansteigenden unteren Lehnen liegen noch im Bereich der Schieferformation; die über ihnen aufstrebenden jähen Hänge gehören dem Kalkgebiete des Hochgebirges an. An dem mit vielem Schutt vom überragenden Gebirge überstreuten Hange nordwärts vom erwähnten Lagerplatz traf ich zunächst Korjaschiefer mit einer Einschaltung von gegen S geneigtem, reichlich von weißen Adern durchzogenem, grauem Kalke an wogegen eine nächstfolgende Kalkfelsmasse sich als stark zerworfen erwies. Höher oben nimmt der Schiefer noch eine breite Zone ein und fällt hier mit sehr wechselnder Steilheit gegen NNO bis N.

Dann folgen Kalke vom Aussehen jener in der Gipfelregion der Korja. Am Fuße des Steilhanges bilden sie eine hohe Stufe, die aus seiger stehenden W—O streichenden, bis sehr steil gegen S und SSO einfallenden dicken Bänken besteht. Man sieht die jenem Kalke eigentümlichen Anwitterungsflächen mit matten dunkelgrauen und weißen, wie mit Mehlstaub überzogenen Flecken, Striemen und Streifen, die brecciösen Strukturen und auch radiär struierte, mannigfach gewundene bandförmige Figuren mit lichter Mitte und dunklem Rand. Seigere Stellung, die bis zur Überkippung und sehr steilem NNW-Fallen führt, hält dann am Abhang hinauf an und verleiht den aus ihm vortretenden Schrofen Mauer- und Zinnenform. In der Beschaffenheit der Kalke tritt insofern eine Änderung ein als die korallenstockähnlichen, anscheinend aber nicht organogenen radiären Zeichnungen verschwinden und ein außen und im Bruche sehr lichtgrauer, dichter Kalk mit spärlicher Kalzitdurchtrümerung vorzuherrschen beginnt. Stellenweise kommen in ihm Hornsteinputzen vor. Dann schalten sich auch Bänke mit hanfkorngroßen Oolithen ein.

Den ersten Grat über dem Steilhang formt ein dichter, grauer Kalk, der in Spaltstücke von geradezu vollkommen ausgebildeter rhomboedrischer Gestalt zerfällt. Er bildet, sehr steil gegen SSO einfallend, das Liegende der am Steilhang anstehenden Schichten. (Taf. I, Fig. IV.) Ein noch tieferes Niveau nehmen blaßziegelrote und wachsgelbe Plattenkalke ein. Sie fallen an dem Nordrande des ersten Grates, wo dieser zu einem in das Curajtal ausmündenden wilden Tobel abstürzt, unter Winkeln von nur 20 bis 30° gegen OSO und SSO, biegen sich aber dann rasch steil gegen S hinab. Sie zeigen sich auch — mittelsteil bis steil gegen S einfallend — auf der Südflanke der hinter jenem Grate höher aufragenden Spitze und auf dem weiter ostwärts folgenden Kammstücke. (Taf. I, Fig. VII.) In ihrem Liegenden folgen wieder graue, massige Kalke. Die Schichtfolge konnte so hier auf dem Kamme nördlich von der Čafa Kolčit etwas tiefer hinab verfolgt werden als auf der Korja. Abgesehen von einigen teils herz-, teils kommaförmigen Schalendurchschnitten, welche sich in den dem Gipfelgestein der Korja gleichenden Kalken fanden, lieferte das Profil leider keine organischen Reste. Der massige Kalk im Liegenden der Plattenkalke setzt den Boden und die Ränder einer stark verkarsteten Hochmulde zusammen, welche hinter der erwähnten Spitze liegt.

Die Schlucht von Gegušenj.

Im Gegensatz zu dem östlich von der Čafa Kolčit eingeschnittenen Graben, welcher sich nach unten hin zu einer Klamm verengt, öffnet sich der nächste schluchtartige Einschnitt rechts vom unteren Valbonatale mit einer breiten Rinne. Man hat hier das von abgerundeten Felsblöcken und mehr als kopfgroßen Rollstücken übersäte Bett eines mächtigen Wildbaches vor sich. Zur Hauptregenzeit mögen sich durch dieses Bachrinnsal manchmal gewaltige trübe Wasserfluten wälzen; im Sommer ist es von einem nur den vierten bis sechsten Teil seiner Gesamtbreite einnehmenden und in Adern aufgelösten klaren Bache durchrauscht.

Eine Musterung der Geschiebemassen läßt die große petrographische Mannigfaltigkeit der Einzugsgegend dieses Wildbaches erkennen. In buntem Durcheinander sind hier alle die vielen Gesteinsausbildungen der Schieferhornsteinformation zu sehen. An der rechtsseitigen Uferböschung sind schuppige, sehr verwitterte Schiefer von zwischen dunkelgrün und violett oft wechselnder Farbe aufgeschlossen. Sie fallen 40 bis 50° steil gegen O. Ihre Neigung nimmt bachaufwärts zu. Höher hinan zeigt hier der bewaldete Hang auch die Formen des aus weichem Schiefer bestehenden Geländes. (Dünnschliff Nro. 3049)

Die nördliche Talseite baut sich aus Olivingesteinen auf. Gleich links vom Eingange in das Bachrinnsal steht eine Felsmasse von tief hinein zersetztem Peridotit. Er ist oberflächlich gelblichgrau, im Bruche hellbraun und ölgrün gefleckt und dunkelgrün bis schwarz getupft; die Kluftflächen sind glatt und glänzend und von der Farbe des lichten Serpentins. Die spornartig vortretende Felsmasse zeigt sich stark zerklüftet, die vorherrschende Richtung der sie durchkreuzenden Flächen ist 50° SSO. Ein wenig weiter taleinwärts zieht sich am linksseitigen Hange der von Raja nach Grigaj und Bunjai führende Weg hinan, die Talfurche des Valbona eine Strecke weit rechts tief unter sich lassend, da sich dieselbe beim Durchbruch des Flusses durch die Olivingesteine gleich oberhalb des Gegušenjer Bachrinnsals zu einer schwer durchgängigen Schlucht verengt. An dem besagten Wege trifft man, wo er sich nach Querung des groben Blockgerölls rechts emporzieht, zunächst noch Schieferschutt, dann scharfkantige Trümmer und Blöcke und höher oben auch Felsen von Peridotit, dessen glatte serpentinartige Krusten zum Teil eine grünlichweiße Farbe zeigen.

Weiter taleinwärts verengt sich das geröllbedeckte Bett des Wildbaches von Gegušenj und beginnt dann auch mehr anzusteigen. Die Grenze zwischen der Schieferhornsteinformation und den olivinreichen Tiefengesteinen verläßt nun, sich rechts wendend, das Bachbett, so daß dieses ganz in geschichtetes Gebirge eingreift. Am südlichen Hange sieht man viele Aufrisse von bläulichgrauem Schiefer, links vom schäumenden Bache ragen zu Häupten großer Trümmerhalden zwei Schrofen von mittelsteil bergwärts fallendem Jaspisschiefer auf, die durch ihre karmoisinrote Farbe schon von Ferne den Blick fesseln. (Taf. II, Fig. I.)

Höher oben erfährt die Bachschlucht eine Teilung, ihr südlicher Ast gestaltet sich zu einem wilden Tobel, durch dessen Grund das Wasser zwischen wirr durcheinander geworfenen Blöcken tost. Die Mannigfaltigkeit der Schiefergesteine ist hier — vom bunten Farbenwechsel ganz abgesehen — besonders groß. Schuppige und dünngeschichtete, blättrig und stenglig zerfallende Schiefer, Griffel- und Knotenschiefer treten auf. Steil ansteigend löst sich dann dieser enge Wasserriß in mehrere Wurzelgräben auf, welche schon in die Zone der braunen Schiefer fallen, die sich von der Südseite auf die Ostseite der im Norden der Čafa Kolčit aufragenden Berge hinüberzieht. Der nördliche Ast der Schlucht von Gegušenj ist weniger wild; auch er zerspaltet sich durch wiederholte Gabelung in mehrere bis in die Braunschieferzone hinaufreichende Gräben.

Die starke Schuttentwicklung verwehrt hier einen näheren Einblick in die tektonischen Verhältnisse, auch die Art der Verknüpfung der Schieferhornsteinformation mit den höher oben am Gehänge anstehenden Schichten entzieht sich leider dem Blicke. Gelegenheit, die oberen Teile der hier beschriebenen Schlucht zu erkunden, bot der Ritt von Bunjai zur Čafa Kolčit, auf welchem man einem Pfade folgt, der die Wurzeln der Schlucht in großen Schleifen umzieht. Der Weg von Bunjai nach Raja überquert den Rücken linkerseits der Gegušenjschlucht vor den früher erwähnten Jaspisfelsen, nahe der Grenze des geschichteten Gebirges gegen den Peridotit. Man kommt dort an einer Stelle bei zickzackförmig gebänderten, grünlichgrauen Schieferkalken vorbei, welche durch Auswaschung einer mächtigen Schuttdecke bloßgelegt wurden. Vorher, noch in der Einzugsregion des gleich zu beschreibenden Grabens, sind in einem Wasserrisse 35° gegen OSO verflächende, rot gestriemte Kalke sichtbar.

Die Gräben von Grigaj.

Der dritte Einschnitt auf der Westseite des unteren Valbonatales stellt im Gegensatz zu den beiden vorgenannten nur einen steil ansteigenden Graben dar. Seine schluchtartige Mündung liegt in dem gleich oberhalb des Bachbettes von Gegušenj beginnenden verengten Teil des Haupttales. Es scheint dort gleich talaufwärts von dem Talsporne, welcher dieses Bett nordwärts begrenzt, die Schieferhornsteinformation bis oder fast bis an den Fluß hinabzureichen und der Peridotit erst jenseits des nächstfolgenden Grabens wieder das westliche Flußufer zu gewinnen, so daß der unterste Teil dieses Grabens an der Gesteinsgrenze verliefe. An dem aus Schiefern aufgebauten rechtsseitigen Hange des Haupttales rechts von der Grabenmündung sieht man einen rot gefärbten Jaspisschrofen emporragen. Weiter einwärts findet dann eine Gabelung des Grabens statt.

Sein linker Ast gestaltet sich zu einer engen, in ihren oberen Teilen dicht bewaldeten Schlucht, in welcher gleichfalls rote Felsen sichtbar sind. Sie bestehen aus weiß und licht- bis dunkelrosenrot gebändertem Quarzit in Verbindung mit grobkörnigem, weiß und rot gestreiftem und geflammtem Kalk. An der rechtsseitigen Uferwand fallen diese Schichten 60° OSO, zur Linken 60 bis 65° SO. Der Bach im Grunde der Schlucht rauscht über schief sein Bett durchziehende Köpfe so gestellter Schichten hinab. In der Nachbarschaft dieses Vorkommens von Bänderjaspis und grobkörnigem Kalk sind grünlichbraune Schiefer aufgeschlossen, welche gleichfalls steil gegen OSO verflächen. Da — wie erwähnt — auch mehr gegen Gegušenj zu mittelsteil gegen OSO geneigte Kalke angetroffen wurden und auch im oberen, an Aufschlüssen armen Schluchtteil steil gegen SSO einfallende Schiefer sichtbar sind, wird taleinwärts von Gegušenj steiles südöstliches Schichtfallen als regionaler Befund innerhalb der Schieferhornsteinformation zur Rechten des Valbonatales erkennbar.

An dem steilen Geländesporn zwischen den beiden Ästen des in Rede stehenden Grabens ragt hoch oberhalb ihrer Vereinigungsstelle ein weithin durch seine Farbe auffallender roter Schrofen auf. Er besteht aus einer stark zerstückten und zerworfenen Masse von mit lichtem, dolomitischem Kalke wechselnden dicken Lagen von Jaspis und weißem bis grauem Quarzit. Ein Stück dieser Masse ist sanft gegen W, ein anderes sehr steil gegen W geneigt. In der Umgebung dieses Gesteinsvorkommens trifft man dunkelrot, violett und grünlichbraun gefärbte Schiefer mit Knauern von weißem Quarz und graue, gebänderte Kalkschiefer.

Der nördliche Ast des Grabens greift weniger tief in das Gehänge ein. Zur Linken des durch ihn abfließenden Baches lenkt ein stark zertalter großer Aufriß durch seine Grünfärbung den Blick auf sich. Man trifft dort stark verwitterten Serpentin. Zu Häupten dieses Aufrisses zieht sich eine viele ein- und ausspringende Ecken zeigende Felsmauer hin, welche den Südabfall des nordwärts anschließenden Geländerückens bildet. Auf diesem flachen Rücken sieht man viele gelb und braun verwitterte rauhe Blöcke von Peridotit, wogegen an seinem mauerähnlichen Steilrande glatte, glänzende Felsflächen von der Farbe des Serpentins vorwiegen. Im oberen Teil des nördlichen Grabenastes entzieht dichter Wald die geologische Beschaffenheit großenteils dem Blicke. Stellenweise sind dort Schieferaufschlüsse zu sehen. Auch ein auf das Vorkommen von Serpentin hinweisender spangrüner Fleck wird sichtbar. Der hier beschriebene Graben wird vom Wege von Raja nach Bunjai in der Höhe des unteren Serpentinaufrisses, vom Wege von Gegušenj nach Bunjai in der Höhe der zerworfenen Jaspisfelsen gequert.

Der nordwärts von diesem Graben folgende Einschnitt auf der Westseite des unteren Valbonatales ist auch von kleineren Dimensionen. Sein unterer Teil stellt einen sanft ansteigenden seichten Graben zwischen zwei flachen Rücken von Olivingesteinen dar, der nur kurz vor der Mündung ein wenig enger und steiler wird. Er ist in seinem von Eluvien erfüllten Grunde von einem Rinnsal durchzogen, das im Hochsommer trocken liegt. Ein linker engerer Seitengraben legt neben ockergelben und rostbraunen Erden blaugraue Lehme bloß. Auf den begleitenden Rücken trifft man viele Trümmer und Riffe von Peridotit.

Der mittlere Teil dieses Grabens liegt in verwittertem Serpentin, welcher zur Bildung eines reich zertalten Geländes Anlaß gibt. Man quert diese bei nur spärlicher Bewachsung spangrüne Ravinenlandschaft auf dem Wege von Gegušenj nach Bunjai. Neben dem in den früher genannten Graben hinüberführenden flachen Sattel erhebt sich aber noch eine rötlichgelbe Kuppe von Peridotit, die durch einen wieder in Serpentin gelegenen Wasserriß von dem rechtsseitigen der beiden vorerwähnten Peridotitrücken getrennt wird. Der dicht bewaldete obere Teil des Grabens scheint wieder in Schiefer einzuschneiden.

Da wo sich die Talrinne des Valbonaflusses nach etwa 3 *km* langer Einengung wieder weitet, zweigt von ihr rechts eine Schlucht ab, die sich weit in das Gebirge hinaufzieht. Ganz kurz vor ihrer Mündung nimmt diese rechts noch einen Graben auf, der den fünften Einschnitt auf der Westflanke des Valbonatales bildet. Sein unterer Teil verläuft zumeist in Serpentin, der auch hier bis tief hinein verwittert ist und zum Auftreten reich zerfurchter Hänge Anlaß gibt. Weiter oben bricht dieser Graben durch eine Felsmasse von mittelsteil gegen ONO einfallendem, ziemlich deutlich gebanktem, grauem Kalk. Es ist dies eines der seltenen rein kalkigen Gesteinsvorkommen innerhalb der Schieferhornsteinformation. Der den Graben durchrauschende Bach überwindet die Kalkbarre unter Bildung eines Wasserfalles. Der dicht bewaldete obere, sich in zwei Äste spaltende Teil dieses Grabens schneidet wieder in Schiefer ein. Sie verflächen teils auch in nordöstlicher, teils in südöstlicher Richtung.

Die Schlucht von Demušaj.

Die große weit in das Gebirge westlich vom Valbona eindringende Schlucht von Demušaj geht im Bereich des Vorgeländes der Steilhänge in einen Graben über, der sich vor seiner Mündung in das Haupttal zu einer kleinen Talebene ausweitet. Der Boden derselben wird durch Schottermassen gebildet, die sich gegenüber den gleich weiter talaufwärts das Flußbett des Valbona rechts besäumenden Konglomeraten als jüngere Absätze zu erkennen geben. (Taf. II, Fig. XIII.) Sie setzen sich gleich den rezenten Rollsteinmassen in dem die kleine Ebene durchziehenden Bachbette aus Gesteinen der Schieferhornsteinformation zusammen. Nach kurzer Einengung beim Durchbruch durch die auf das Westufer des Valbona übergreifenden Peridotite wird der Graben wieder breiter. An der rechtsseitigen Böschung des Bachbettes treten dunkle, braun anwitternde, dünnplattige Schiefer auf. Dann tritt der Graben in ein ausgedehntes Serpentingebiet ein, das sich auch hier landschaftlich in derselben Weise wie die früher erwähnten Vorkommen von Serpentin sehr auffällig kennzeichnet.

Nach Überwindung der vielen reichverzweigten Runste desselben tritt man in die große Gebirgsschlucht ein. Ihr unterer Teil gestaltet sich zu einer von steilen Felshängen eingerahmten Enge, durch die der Bach zwischen mächtigen Blöcken hindurchschäumt. Zur Linken stehen sehr stark gegen O geneigte, bis fast seigere Glimmerkalke und Kalkschiefer an. Kurz vor dem Schluchteingange, wo 70° steiles östliches Schichtfallen zu beobachten ist, sieht man dünnplattige, dunkle Schiefer von grauen, grobbankigen Glimmerkalken überlagert. Weiter einwärts schaltet sich rosenrot und weiß gebänderter Marmor den genannten Gesteinen ein (Taf. II, Fig. II); auch Zwischenlagen von violetten und grünen Tonschiefern treten auf. Das Verflächen wird ein mittelsteil gegen NO gerichtetes. Im Bachbette trifft man neben großen Blöcken naher Herkunft viele Rollsteine aus grauem, weißgeädertem Kalke, die aus höheren Geländeteilen stammen.

Die Hänge linkerseits des Baches sind mit dichtem Wald bedeckt, an den steilen Lehnen gegenüber ragen aber mehrere Schrofen auf, die aus ganz außerordentlich stark gefälteltem und zerknittertem Glimmerkalke bestehen. Er enthält Einschaltungen von grau und weiß geädertem Kalke und Zwischenlagen von zerblätterndem, silberglänzendem Schiefer. Das generelle Schichtfallen ist 35 bis 45° gegen ONO bis NO. Oberhalb eines zu einer malerischen Klamm verengten Schluchtabschnittes tritt eine Spaltung der in Rede stehenden Gebirgsschlucht ein. Ihr Südast greift in dicht bewaldetes Gelände ein. Mehrorts

gewahrt man in seinem unteren Teil Schieferaufrisse von brauner und violetter Farbe. Höher oben streichen einige Kalkzüge durch; die Wurzelregion dieses Schluchtastes ist ein äußerst wilder, großartiger Felszirkus, an dessen Nordrand schroffe Zinnen emporragen.

Der größere nördliche Ast der Schlucht bietet an seiner linken Flanke gute Aufschlüsse dar. Man trifft da zunächst dieselben Kalke mit Glimmerschuppen und Knauern von zerfressenem Quarz, welche tiefer unten am steilen Nordhang der Hauptschlucht anstehen. Wie dort erscheinen sie auch hier in der abenteuerlichsten Weise zerknittert und verdrückt. (Taf. II, Fig. V.) Diese Gesteine haben eine auffallende, bis zur Verwechslungsmöglichkeit im Handstücke gedeihende Ähnlichheit mit den wegen der durch ihre Fältelung hervorgerufenen eigentümlichen Zeichnung von mir mit dem Namen Holzmaserkalk belegten Gesteinstypen des Brennerrhät. Sie fallen 30 bis 45° steil gegen ONO bis O)

Höher oben am Hange gehen diese Glimmerkalke in dunkelgraue, von Quarzadern durchzogene, unregelmäßig geschieferte Gesteine über, die ein altes, an manche Karbonschiefer erinnerndes Aussehen gewinnen. Sie sind teils ebenflächig, teils uneben spaltend, sehr dunkel und mattschimmernd oder von phyllitähnlichem Glanze. Stellenweise gehen sie in Sandsteinschiefer über. Diese Schiefer wechseln mit grauen, von weißen Kalzitadern durchtrümerten Kalken ab. Letztere sehen den Kalken am Südhange der Korja Merturit ähnlich, sind aber deutlicher geschichtet, ärmer an Trümern von Kalzit und diese nehmen im Gestein einen mehr geradlinigen Verlauf. Es handelt sich da aber nur um Merkmale von geringer unterscheidender Kraft.

Im Grunde des nördlichen Schluchtastes trifft man auch die vorgenannten Gesteine in mehrfachem Wechsel an. Oberhalb der Quelle, welche den Ursprung des die Schlucht durchrauschenden Bächleins bildet, stehen graue, weißadrige Kalke an. Der Boden der Schlucht wird dort durch mäßig steil gegen NO geneigte Schichtflächen solchen Kalkes geformt. Über ihm folgt eine wenig mächtige Lage von Kalkschiefer und Glimmerkalk und dann dunkler, sehr brüchiger Schiefer, welcher 40° gegen O bis OSO einfällt. (Taf. II, Fig. IV.) Über den Nordhang des obersten Schluchtteiles streicht zu Häupten mehrerer dem Schiefer eingeschalteter kleinerer Kalkvorkommen ein sehr mächtiger Zug aus grauem, von weißen Adern durchtrümertem Kalke hinan, welcher eine Unterbrechung jenes Hanges durch eine hohe Steilwand bedingt. Im Hangenden dieses Zuges trifft man wieder dunklen Schiefer, welcher mit 30° gegen NNO verflächt und ober der genannten Wand in spießigen Schichtköpfen vortritt. Die Zone dieses Schiefers reicht bis zu den verkarsteten Kalkmassen hinauf, in welchen die Anfänge des nördlichen Schluchtastes liegen. Man sieht dort einen im Gegensatz zu dem wilden Felszirkus ober dem Südaste teilweise übergrasten Felshalbtrichter, der aber auch von einem Halbrund schroffer Gipfel überragt wird.

Die Gräben von Bunjai.

Nordwärts von der eben beschriebenen Felsschlucht folgt ein Teilstück des Gebirgsabhanges, in welches nur drei kleine Gräben, aber keine tiefen Talfurchen einschneiden. Die Endstücke dieser Gräben durchbrechen einen Zug von Olivingesteinen, welcher den auf die Westflanke des Valbonatales übergreifenden Randpartien des Intrusivgebietes entspricht. Von den so entstehenden Abschnitten dieses Gesteinszuges stellt der erste eine flach gewölbte Kuppe, der zweite einen hohen, weit vortretenden Hügelrücken dar. Der zwischen diesen beiden Vorbauen des Gehänges hinanziehende erste der drei vorgenannten Gräben weitet sich höher oben im Bereich der Schieferhornsteinformation zu einer schuttbedeckten seichten Mulde aus, an deren Rändern mehrorts Serpentin zutage tritt. Die Aufschlüsse zur Rechten des die Mulde querenden Bachgerinnes stehen mit den im Vorgelände der Felsschlucht von Demušaj entwickelten Serpentinmassen in Verbindung. Ein Serpentinvorkommen liegt links von jenem Bachgerinne an der Abgliederungsstelle des genannten Rückens, welche der Westgrenze des Peridotites entspricht. Zunächst dieser Grenze sind dort steil gegen NW fallende, braune, bröcklige

Schiefer bloßgelegt. Weiter aufwärts am Gehänge sieht man phyllitähnlichen Schiefer mit einem grünlichgrauen Tuffsandstein mehrmals wechseln, der in einer feinkörnigen Grundmasse stellenweise größere Körner eingeschlossen enthält. Das Verflächen ist 30° bis mittelsteil NW.

Am Abhang oberhalb der Mulde tritt inmitten dieser Schichtfolge wieder Serpentin auf, der hier reichlich mit hellspargelgrünen, feinstengeligen, glänzenden Krusten von Pikrolith überzogen ist. Dieses Vorkommen steht wohl mit zwei in sehr reich zerfurchten Aufrissen bloßgelegten Serpentinstöcken in Verbindung, die sich bergwärts von einer auf der Nordseite der Mulde aufragenden, dicht bewaldeten Hügelkuppe befinden. Oberhalb dieser Serpentine trifft man zunächst wieder den phyllitischen Schiefer und das grünlichgraue, braun anwitternde Tuffgestein, gegen N bis NNO verflächend.

Beim weiteren Anstiege kommt man aber zu sehr stark zerknitterten Kalkschiefern, ähnlich jenen, die an den von dort nicht weit entfernten Nordhängen der Schlucht von Demušaj anstehen und dann in ein Gebiet, wo man sehr an die Befunde am Südhang der Korja erinnert wird. Man sieht da Blöcke und Trümmer grauen, weißgeäderten Kalkes in eine Masse von dunklem Tonschiefer eingehüllt; daneben treten auch linsenförmige Einschaltungen solchen Kalkes in diesem Schiefer auf, der auch lithologisch jenem auf der Korja ähnelt.

Der Graben nordwärts von dem weit vortretenden Hügelrücken reicht nur bis zur Wurzelregion desselben hinan und wird so rechterseits ganz von Peridotit begrenzt. Zur Linken seines oberen Teiles stehen Schiefergesteine an. An einer Felsstufe neben dem Rinnsal ist 50° steiles Ostfallen erkennbar. Der dritte Graben verläuft nur mehr eine kurze Strecke weit durch Peridotit, da sich dessen Grenze gegen die Schiefer nordwärts rasch absenkt. Auf dem Rücken rechterseits von diesem Graben zeigt sich am Westhang ein Aufriß von mit Serpentinkrusten überzogenem Olivinfels; an der dem Haupttal zugekehrten Lehne sieht man kleine, reichlich von Chalzedon durchäderte Riffchen jenes Gesteins aus einer Halde von Trümmern desselben hervorragen. An der Ostflanke des Rückens stehen nicht weit oberhalb der Djamia von Bunjai schon stark verwitterte Schiefer an. Ober der Halde mit dem Chalzedonvorkommen sind spangrüne schuppige und schwarze dünnspaltige Schiefer mittelsteil gegen NW verflächend aufgeschlossen. Dieselbe Fallrichtung läßt sich auch weiter westwärts in Entblößungen von grauen, stark zerblätternden und härteren grünen Schiefergesteinen erkennen.

Beim Eintritt in den dritten Graben sieht man nach Durchquerung der aus dem Haupttal noch in ihn hineinreichenden alten Schotter (Tafel II, Fig. XII) rechts vom Bachbette zunächst noch einen roten, auf Olivinfels weisenden und dann einen grauen, auf Schiefer deutenden Lehmaufriß. Auf der linksseitigen Böschung zeigen sich in aufsteigender Folge:

Schwarzer, etwas glänzender, blättriger Tonschiefer.

Glimmerreicher, glänzender, spießig zerfallender Schiefer mit vielen Rostflecken.

Braun anwitternder, im Bruche grüner, engklüftiger Schiefer. (Taf. II, Fig. III.) Das Verflächen ist hier 40° N bis N vers W. Etwas weiter einwärts stößt man an der linken Uferseite auf verwitterten Serpentin, der sich von da bis zur Höhe des den Graben gegen N begrenzenden Rückens emporzieht. Dann gelangt man zu der Mündungsstelle eines rechten Seitengrabens und sieht dort den aus diesem kommenden Bach über 35 bis 40° gegen W bis WNW geneigte Schichtköpfe eines graugrünen, von weißen Kalzitadern durchtrümerten Schiefers herabschäumen. Höher oben ragt zur Linken dieses Seitenbaches eine mittelsteil gegen NNW einfallende Felsmasse von phyllitischem Schiefer auf, dessen stark zerknitterte Lamellen kleine Quarzlinsen umschließen.

Das Bächlein im Hauptgraben, welches eine geringere Wasserfülle als das des Seitengrabens zeigt, stürzt nicht weit oberhalb der Mündung dieses letzteren über eine Barre von jungen Schuttbreccien aus eckigen Trümmern von Grünschiefer und Serpentin. In der dicht bewaldeten Wurzelregion des Grabens sind mehrorts wieder phyllitähnliche Gesteine mit Quarzlinsen aufgeschlossen; daneben kann man dort viele Blöcke und stellenweise auch kleine Riffe eines von Kalzitadern und

dünnen Glimmerlagen durchzogenen, gefältelten und so eine unregelmäßige Streifung und Bänderung zeigenden Schieferkalkes sehen. Die Spärlichkeit der Aufschlüsse hemmt eine nähere Erkenntnis der Lagebeziehung beider Gesteine. Es scheint, daß die Blöcke von Glimmerkalk als Zerfallsprodukte widerstandsfähiger, aus den phyllitischen Schiefern ausgewitterter Einlagerungen zu deuten sind. Das generelle Schichtfallen ist in dieser Gegend 30° N.

Die Schlucht von Marghegai.

Diese Schlucht greift ähnlich der von Demušaj weit ins Gebirge ein. In ihren untersten Teil ziehen sich noch Ausläufer des das mittlere Valbonatal erfüllenden Diluviums hinein, das der Schluchtbach nach dem Verlassen des Gebirges in einem steilwandigen Cañon durchbricht. Dieses Diluvium ändert mit der Annäherung an den Gebirgsfuß seine konglomeratische Beschaffenheit in das Aussehen einer Breccie um. Im Bereiche der Schluchtmündung sieht man links vom Bache hohe Wandstufen, die den Schichtköpfen dicker, söhliger Bänke einer klastischen Ablagerung entsprechen, die bei der sehr wechselnden Größe ihrer zumeist kantigen Stücke als grobe Trümmerbreccie zu bezeichnen ist. (Taf. II, Fig. XIV.)

Das Grundgebirge, welchem diese Breccienbänke angeklebt sind, ist hier Serpentin. Man sieht ihn in einem tieferen Aufschlusse in zerklüfteten Felsen und an einer höher gelegenen Stelle in stark verwittertem Zustande entblößt. Auf der rechten Uferseite hindert Schuttbedeckung des Gehänges einen näheren Einblick in dessen geologische Beschaffenheit. Das breite Bett des die Felsschlucht zur Regenzeit durchschäumenden Baches zeigt sich weithin mit abgerundeten, blendend weißen und hellgrauen Blöcken von dolomitischem Kalke übersät. Der im Sommer großenteils trocken liegende Boden des Bachbettes wird durch ausgewaschene und geglättete Felsen einer Breccie gebildet, die in reichlicher weißer Kalkspatmasse viele eckige Serpentinbrocken erkennen läßt. Daneben zeigen sich am Rinnsalgrunde auch Felsflächen eines außen und im Bruche schmutzig gelblichen Gesteins, das von einem grobmaschigen Netze von Kalzittrümern durchzogen ist und wohl ein verwitterter Serpentin sein mag. Das Gelände linkerseits des unteren Schluchtteiles zeigt in weitem Umkreise die reichliche Zertalung und spangrüne Färbung der Aufschlüsse von verwittertem Serpentin. Das mehrorts auch zutage tretende noch frische Gestein weist hier verhältnismäßig wenige glasige Krusten auf.

Die ersten Schieferfelsen, welche man bergwärts vom Serpentin links von der Schlucht erreicht, fallen 40° N. An diese reiht sich dann eine mächtige Schichtmasse von mittelsteil gegen NO bis ONO verflächenden, teils grobklüftigen, teils feinzerblätternden Grünschiefern; dann folgen, in konkordantem Schichtverbande mit ihnen, graue, streifige Schieferkalke, wie sie in den vorbeschriebenen Gräben ober Bunjai mehrorts sichtbar sind. Manche der ersteren Gesteine ändern ihre auf Eisenoxydulverbindungen hinweisende Farbe oberflächlich in die den Eisenhydroxydverbindungen zukommenden Farbentöne um, so daß man mehrorts rote Gesteinsentblößungen sieht. Die steilen waldigen Hänge auf der südlichen Schluchtseite bieten nur wenige Aufschlüsse dar. Es herrschen dort dieselben Gesteinstypen wie an den nördlichen Lehnen vor. Die Fallrichtung der Schichten ist dort NO bis N, die Neigungswinkel sind geringer als links von der Schlucht (30° und darunter).

Oberhalb der ganz mit großen weißen Rollsteinen übersäten Strecke des Bachbettes trifft man in diesem viele Blöcke von weiß, lichtgrün und gelb gebändertem Glimmerkalke, der sich in ganz ungewöhnlich starkem Maße gefältelt und zerknittert zeigt. Weiter talaufwärts erscheint die Schlucht von einer mächtigen Schottermasse ausgefüllt, deren Material vorwiegend aus dolomitischem Kalke besteht. Der Bach hat sich sein Bett zwischen dieser Masse und den Schiefern zu seiner Rechten gegraben. (Taf. II, Fig. XIV.) An der hohen, steilen, linksseitigen Böschung seines tiefen Einschnittes kann man den Aufbau der Füllmasse aus unregelmäßig wechselnden und stellenweise sich verkeilenden Lehm- und Schotterlagen gut erkennen. In der Tiefe der Schlucht tritt aber auch auf dieser

Seite unter den Schottern Grünschieferschutt und anstehender Schiefer zutage. Durch das reichliche Vorkommen von Bachschotter unterscheidet sich die Schlucht von Marghegai von jener von Demušaj, die bei sonst ähnlichem Verhalten keine solchen fluviatilen Bildungen führt. Als Ursache ist wohl eine stärkere Entwicklung von sehr zum Zerfalle neigenden Dolomiten und dolomitischen Kalken in der hoch oben im Gebirge liegenden Wurzelregion der ersteren Schlucht zu betrachten.

Oberhalb der Schottermassen dehnt sich ein mit üppigem Gesträuch bewachsener Abhang aus und dann folgt eine Lehne mit vielen Kalksteintrümmern, die hier als Produkte des Zerfalles einer anstehenden Gesteinsmasse zu deuten sind. Man sieht da einen dunkelgrau anwitternden, im Bruche lichtgrauen subkrystallinen Kalk, welcher von einem engmaschigen Kalzitnetze durchtrümert ist, das in dünnen sich kreuzenden braunen Rippen auswittert. Er enthält Durchschnitte von Bivalvenschalen sowie Krinoiden- und Korallenspuren, jedoch in schlechtestem, jede nähere Deutung ausschließendem Zustande der Erhaltung. Daneben findet sich, anscheinend auf sekundärer Lagerstätte, ein zuckerkörniger, im Bruche blendend weißer, an der Oberfläche sich mit Mehlstaub bedeckender Dolomit. Rechterseits der Schlucht stehen oberhalb der ihren Grund erfüllenden Bachschotter Kalke an, die mit den vorgenannten in Verbindung stehen dürften. Der obere Teil der Schlucht von Marghegai zeigt manche physiognomische Ähnlichkeit mit der von Demušaj. Eine hohe, oberhalb mehrerer isolierter Kalkschrofen sich am linken Schluchtgehänge hinanziehende Kalksteinwand erscheint wie eine größere Wiederholung des im Hauptaste der Demušajschlucht sichtbaren Landschaftsbildes. Vermutlich handelt es sich auch hier um linsenförmige Vorkommen grauer weißaderiger Kalke innerhalb brauner Tonschiefer wie dort. Die Schlucht führt in ein stark verkarstetes Hochtal hinauf, in das man aber von den gegenüberliegenden Höhen aus weniger Einblicke bekommt als in die Wurzelregionen der vorhin beschriebenen Gräben. Dem manchmal allerdings trügerischen Anblicke aus der Ferne nach zu schließen, nehmen am Aufbau der den Hintergrund jenes Hochtales umrahmenden Gipfel Dolomite einen großen Anteil.

Zwischen der eben beschriebenen Schlucht und dem Eingang in das enge obere Valbonatal ist noch ein kleiner Graben zu bemerken, der sich aber nicht weit am Gehänge hinanzieht. Sein unterster Teil trifft auf die Richtung des Haupttales unter stumpfem Winkel, da er sich hinter einen Rücken einschiebt, der, von den Höhen links von der Schluchtmündung ausgehend, gegen Norden streicht. Dieser Rücken besteht aus Serpentin, der an drei Stellen der dem Valbonaflusse zugekehrten Rückenseite aufgeschlossen ist und die Fortsetzung des großen Serpentinstockes ober Marghegai bildet. Das Gelände hinter diesem Rücken baut sich aus Schiefern auf, deren Zone man am Wege zum Eingange in das Tal von Dragobjs quert. Diese Schiefer sind von dunkelgrauer Farbe, zeigen rostige Ablösungsflächen und sehen denen auf der Korja etwas ähnlich. Oberhalb dieser Schiefer besteht das Talgehänge aus Kalken, die in der Fortsetzung jener liegen, die die vorhin genannte Felswand bilden. Der besagte Graben löst sich noch innerhalb der Schieferzone in mehrere Zweige auf, die im Bereich der Kalke beginnen.

Die Schlucht von Begaj.

Nordwärts des scharfen, steil aufragenden Grates, welcher das Endstück des Dragobjstales linkerseits begrenzt, zieht sich als oberster Ast des Valbonatales auf dessen linker Seite die Talschlucht von Begaj hin. Sie stellt eine bei großer Tiefe weit in das Gebirge einschneidende Furche dar und weicht so morphologisch sehr von den rechtsseitigen Zweigen jenes Tales ab, die sich verhältnismäßig rasch und steil zu den Hochmulden des Gebirges hinaufziehen.

Oberhalb der Vereinigungsstelle des Valbonabaches mit dem aus der Schlucht von Begaj kommenden Bache ragt ein dicht bewaldeter Hügel auf, dessen Untergrund wohl Schiefergesteine sind. Von ihm zieht sich ein Bergrücken sanft zum Ostabfalle des scharfen Trennungsgrates zwischen

den Talfurchen von Dragobjs und Begaj hinan. Dieser Rücken scheint der Zone jener braun verwitternden dunklen Schiefer anzugehören, welche auf der Westflanke des mittleren Valbonatales zwischen der Schieferhornsteinformation und dem aus Kalk bestehenden Gebirge hinstreicht. Der Gefällsknick an der Stelle, wo der Rücken auf den Gratabfall trifft, zeigt die Lage der Kalk-Schiefergrenze an.

Links von der Einmündung des Begajbaches in den Bach von Dragobjs steigt dicht bewaldetes Gelände zu einer ziemlich ausgedehnten grasbewachsenen Terrasse an. Auf diesem flachen Graslande findet man verstreute Stücke von einem sehr harten und festen Quarzkonglomerat und in dem die Grasebene gegen W begrenzenden Rinnsal besteht etwa die Hälfte aller Rollsteine aus solchem Konglomerat. Man trifft dasselbe auch noch in dem folgenden, sich zwischen den Hütten von Begaj hindurchziehenden Bachbette in mehreren großen Blöcken an. Es besteht aus weißen, unvollkommen abgerundeten Quarzkieseln und aus einer körnigen quarzitischen Grundmasse von graurötlicher bis grauer Farbe. Anstehend wurde ein solches Gestein in dem durchforschten Gelände nicht gesehen. Die Häufung seiner Vorkommnisse in großen Rollstücken und Blöcken in einem ziemlich eng umgrenzten Raum spricht dagegen, daß es aus weiter Ferne hergebracht wurde. Die in den Schottern um Tropoja und am Sattel von Morins zu findenden Geschiebestücke von solchem Konglomerat weisen nicht auf eine Herkunft aus dieser Richtung, sind vielmehr als Anzeichen einer gegen Osten erfolgten Verfrachtung aus der Gegend ihres häufigsten Vorkommens zu deuten.

Nicht weit ostwärts von Begaj liegt ein bald näher zu erwähnendes Vorkommen von Quarzschiefer und Sandstein, das — obwohl es nicht mit Konglomeraten in Verbindung steht — vielleicht doch einen Fingerzeig dafür abgibt, daß auch als Ursprungsstätte für gröbere klastische Quarzgesteine die Schieferhornsteinformation zur Linken des Valbonatales in Betracht zu ziehen ist. Jenes Vorkommen von Sandstein hebt sich allerdings als rötlichbrauner Schrofen vom Tonschiefer- und Serpentingelände in der Landschaft deutlich ab; oberhalb der erwähnten Grasfluren östlich von Begaj ist aber an den Hängen, welche die Wurzeln der erwähnten, an Konglomeratrollstücken reichen Bachrinnsale bergen, kein jenem roten Schrofen ähnliches Felsgebilde sichtbar. Das Anstehende an jenen, sich zu den Vorhöhen des West-Skülsen hinanziehenden Hängen ist neben Grünschiefer vorzugsweise Serpentin. Besonders bei der Djamia von Begai sind spangrüne Erdaufrisse zu sehen.

Westwärts von den vorgenannten Bachrinnsalen wird das linke Ufer des Begajbaches ungemein steil. Jähe Abhänge mit vortretenden kleinen Schrofen und fast senkrechte Wandstufen treten auf. Sie werden durch 20° gegen OSO verflächende, sehr gut geschichtete Grünschiefer gebildet. (3048) Auf einem Vorsprung des Uferhanges unweit der Djamia kann man den Übergang dieses Schiefers in Serpentin ganz deutlich sehen. Von dieser Stelle hat man einen großartigen Blick in das Endstück der Begajschlucht mit dem tief unten zwischen Schottersäumen rauschenden Bache. Taleinwärts sieht man diese Schlucht sich in eine Klamm verengen, an deren Eingang der Bach über eine Felsbarre stürzt. Weiter hinten scheint sich wieder eine Erweiterung des Geländeeinschnittes zu vollziehen.

Steigt man von jenem Felsvorsprung steil hinan und dringt dann am linksseitigen Hange auf schmalem Pfade weiter in die Schlucht ein, so zeigt sich eine Überlagerung des auch hier sanft gegen O einfallenden Grünschiefers durch Serpentin und dann im Liegenden jenes Schiefers ein phyllitähnlicher Schiefer, der teils söhlig lagert, teils sanft bergwärts verflächt. (Taf. II, Fig. VI.) Diesem letzteren schaltet sich mehrorts ein schwarzer, seidenglänzender, in ebenflächige Plättchen spaltender Schiefer ein. Auch ein kubisch klüftiges, mattgrünes Tuffgestein tritt hier in Verbindung mit dem vorherrschenden Schiefer auf. Beim weiteren Vormarsch stößt man dann auf stark zerknitterte Kalkschiefer und Glimmerkalke, wie sie in den Schluchten auf der rechten Seite des Valbonatales angetroffen wurden. Hierauf folgt ein breiter Geländestreifen mit Aufrissen dunkelbraun verwitternder Tonschiefer und jenseits desselben fängt die Region der Kalke an. Sie wurde von mir nicht erreicht. Man hat es hier mit der auf das linke Ufer des Begajbaches übersetzenden Schieferzone im Vorgelände des

die Scheidewand gegen das Tal von Dragobjs bildenden Grates zu tun. Die Einengung der Begajschlucht zu einer Klamm entspricht dem Durchbruch ihres Baches durch die Kalke. Wie sonst oft führt auch hier der Übergang aus einem schwerer in ein leichter erodierbares Gestein zu einer Unterbrechung der Gefällskurve des Schluchtgrundes. Es ist die oben erwähnte Felsbarre mit dem Wasserfall. Im Hintergrund der Begajschlucht ist zwischen wild zerrissenen Felshängen, die ihren mittleren Teil flankieren, ein hoher, mehrere Gipfelkuppen tragender Berg zu sehen.

Der Graben von Hasaj.

Östlich von der Schlucht von Begaj liegen auf der Südflanke des Skülsen mehrere Zweige des Valbonatales, deren Bäche vom Tropojaflusse, dem linksseitigen Hauptaste des Valbona, aufgenommen werden. Der Skülsen fällt gegen Süden mit steilen Hängen ab, denen ein sehr sanft abdachendes Gelände vorliegt. Die in dieses Vorgelände eingefurchten unteren Teile jener Talverzweigungen sind vorwiegend seichte Gräben, nur ihre in die Skülsenhänge eingreifenden Wurzelstücke nehmen das Aussehen enger, steilwandiger Schluchten an. Es liegt hierin ein morphologischer Unterschied gegenüber den rechtsseitigen Zweigen des Valbonatales, die zufolge des Fehlens ausgedehnterer Vorstufen am Ostfuße des Gebirgsstockes der Maja Hekurave meistenteils eine schluchtartige Beschaffenheit aufweisen.

Die erste dieser Talverzweigungen, der Graben von Hasaj, liegt jenseits der im vorigen erwähnten grasbewachsenen Plateaufläche östlich von Begaj. Der Abfall vom Ostrande dieser Fläche zur Grabensohle ist verhältnismäßig steil, wogegen der Anstieg von dieser Sohle zum Scheiderücken gegen den östlichen Nachbargraben sanft erfolgt. Aufschlüsse sind im unteren Teil dieses Grabens spärlich. An den beiden Böschungen des Baches sieht man mehrorts junge fluviatile Bildungen entblößt. An einer Stelle, wo der Weg nach Begaj durch das Bachrinnsal führt, folgen links unterhalb der Humusdecke — sich gegenseitig gut abgrenzend — grober Schotter, gelber Lehm und dann diese beiden Sedimente in mehrfacher Mischung und Verzahnung bis zum Bachbette hinab, welches dort eine Mustersammlung von Rollstücken der verschiedenen Gesteinsabarten der Schieferhornsteinformation enthält. Reichliche Vertretung von Serpentin in diesem Bachgeröll entspricht einem ausgedehnten Vorkommen dieses Magnesiasilikates im weiter talaufwärts gelegenen Grabenstücke bei Barbina, wo die schon mehrmals erwähnte landschaftliche Eigenart des Serpentingeländes wieder zu großzügiger Entfaltung kommt.

Im Hintergrund des in Rede stehenden Grabens ragt ein großer Felshügel auf, der durch schroffe Form und rotbraunen Farbenton gegen das vor ihn gebreitete spangrüne Furchenland scharf absticht und den Blick auf sich zieht. Dieser Hügel besteht zumeist aus rötlichgrauem Sandstein, welcher ein mittelsteiles Ostfallen erkennen läßt. Höher oben scheinen wieder Serpentine aufzutreten, da die Hänge des Hügels mit vielen dunklen Brocken dieses Gesteins bestreut sind. Folgt man dem von vielen Trümmern von Sandstein und milchweißem Quarz besäumten Südfuße des Hügels gegen West, so kommt man in den rechtsseitigen der beiden Äste, in welche der Graben von Hasaj durch den besagten Felshügel gespalten wird. In diesem schluchtartig verengten Grabenaste ragen links vom schäumenden Bache mehrere bizarr geformte Zacken und Zähne von Sandstein auf. Nicht weit talabwärts von hier liegt die Grenze gegen das Serpentingebiet des mittleren Grabenteiles, die aber auch hier nicht aufgeschlossen ist, so daß ein Einblick in die Art des Gesteinskontaktes mangelt. An den Ufern des den linken Grabenast durchrauschenden Bächleins auf der Ostseite des Sandsteinhügels trifft man 40° gegen NW fallende Schiefer an. Auch auf der Ostseite des Hauptgrabens, talabwärts von seiner Teilungsstelle herrschen Schiefergesteine vor, die gegen N verflächen. Es sind dort aber nur wenige Aufschlüsse vorhanden. Dasselbe gilt betreffs eines kleinen, teilweise versumpften Grabens, welcher sich zwischen den unteren Teil des Grabens von Hasaj und den gleich zu beschreibenden Talzug von Makaj einschiebt, aber nicht bis an die Hänge des Skülsen reicht.

Der Graben von Makaj.

Es ist dies der bedeutendste der Taleinschnitte auf der Südseite des Skülsen. Sein Endstück ist gleich dem des Hasajgrabens ein zwischen flachgewölbten alten Schotterrücken eingesenkter und mit jungen fluviatilen Bildungen erfüllter seichter Graben. Das ihn durchziehende Bachbett ist wie bei Hasaj von steilen, aber nicht hohen Böschungen begrenzt und weist eine erstaunliche Mannigfaltigkeit von Gesteinen auf. Abgesehen von Serpentin und weißem Kalk sind hier neben zahlreichen Abarten von Kalkschiefer und Tonschiefer wieder rote Jaspisse, rote, weißgeäderte und schwarze Kalke zu sehen. An der westlichen Talseite zeigen sich mehrorts Lehme und verwitterte Schiefer entblößt. Weiter einwärts verengt sich der Talzug zu einer Schlucht, eine Formveränderung, die mit seinem Durchtritt durch einen Kalkzug zusammenhängt. An den Hängen rechts von dieser Schlucht trifft man zahlreiche Trümmer von dunkelrotem Kalk mit weißen Adern und viele Bröckeln von Jaspis an. Auf der gegenüberliegenden Schluchtseite sind auch Schrofen von Kalk zu sehen. Höher oben folgen rechts vom Bache 20° gegen O bis NO fallende Tonschiefer im Wechsel mit Sandstein, der großenteils etwas verwittert ist und dann unschwer zerfällt, im frischen Zustand sich aber als ein Gestein von sehr festem Gefüge erweist.

Nach Überwanderung des Sattels rechts von einer ihren Umkreis stolz beherrschenden Waldkuppe öffnet sich ein Blick in den taleinwärts vom vorgenannten Durchbruch gelegenen mittleren Teil des Makajgrabens, welcher die zerstreuten Hütten von Bardić birgt. Dieses Grabenstück stellt sich als ein von steilen zerfurchten Hängen flankierter tiefer Einschnitt dar. Die ihn beiderseits begrenzenden Höhenzüge gipfeln in zahlreichen Kuppen, die teils aus Tonschiefer, teils aus Serpentin bestehen. Auf der westlichen Grabenseite reihen sich viele solcher Kuppen aneinander, von denen die mehr bergwärts stehenden waldlos sind und viele Aufschlüsse von Serpentin zeigen. Auf der Ostseite des Grabens fallen besonders drei hohe Kuppen auf. Am Westfuße der ersten Kuppe, zwischen ihr und einem Nachbarrücken und im Umkreise der zweiten dieser Kuppen sieht man Serpentin entblößt. Er ist hier fast überall mit spargelgrünen, weißen und honiggelben glasigen Krusten überzogen.

Der obere Teil des Makajgrabens ist in Schiefer eingeschnitten und auch seine zahlreichen, in der Fußregion des Skülsen sich entwickelnden Wurzelgräben schneiden in Schiefergesteine ein. Im westlichsten dieser engen schluchtartigen Gräben stehen glimmerreiche, eisenschüssige Schiefer an, die teils ganz söhlig liegen, teils talwärts verflächen und mehrorts sehr stark gefältelt und verbogen sind Auf der Ostseite des oberen Abschnittes des Hauptgrabens findet man bergwärts von den Serpentinaufschlüssen und noch unterhalb der Djamia von Bardić NNW, oberhalb der Djamia WNW und dann am oberen Ende des sich dort hinanziehenden grasigen Berghanges NW als Fallrichtung der Schiefer Gleich in der Nachbarschaft sind seiger stehende von NW nach SO streichende Schiefer bloßgelegt. In den grünen Schiefern unterhalb der Djamia sieht man eine Einschaltung von stark zernagtem Quarz Als Ursprungsstätte der in den alten Schottern im Vorlande des Skülsen zahlreich vorkommenden Quarzgeschiebe kommen so neben dem früher erwähnten Sandstein im Hasajgraben auch manche Schiefer der Schieferhornsteinformation in Betracht. Höher oben am Gehänge oberhalb der Djamia war teils sehr steiles Südfallen, teils auch Seigerstellung der Schiefer zu sehen.

Am Abhang östlich von der Djamia von Bardić trifft man rostige, verwitterte Grünschiefer, die 30° gegen NNW bis NW, stellenweise auch gegen WNW einfallen, mehrorts aber auch stark gestört sind. Höher oben zeigt sich bei einer Quelle wieder ein Serpentinvorkommen. Es ist wohl das höchstgelegene der Gegend. Beim weiteren Anstieg durch Kastanienwald sieht man einige Aufschlüsse von etwa dem Berghang parallel streichendem, seigerem Schiefer und kommt dann über Wiesen zu dem Rücken, welcher den östlichsten Ast des Grabens von Bardić (beziehungsweise des oberen Teiles des Makajgrabens) links begrenzt. Hier beginnen die auffällig stark zerknitterten und verquetschten Schieferkalke mit Kalzitlinsen und Quarzknauern, welche in den Schluchten auf der Westseite des mittleren

Valbonatales oberhalb der Zone der Schieferhornsteinformation zu treffen sind. Die schon einmal betonte Ähnlichkeit dieser Gesteine mit gewissen Gliedern des lithologisch vielgestaltigen Rhät im Westen der Brennerfurche ist auch hier sehr groß. Stellenweise sieht man diese in tiefen Wasserrissen bloßgelegten, mehrorts aber auch an schuttreichen Hängen aufgeschlossenen Schieferkalke bei WSW — ONO-Streichen seiger stehend, großenteils sind sie aber derart gestört, daß man eine Lagerungsform nicht angeben kann.

Weiter oben am Gehänge zeigen sich die den Gesteinen auf der Korja ähnlichen dunklen Schiefer und Sandsteine, doch trifft man auch noch im Bereich derselben verstreute kleine Vorkommnisse von Kalkschiefern und grauen Kalken an. Gut sind diese Gesteine längs des breiten Weges aufgeschlossen, welcher am linksseitigen Steilhang der tief in die Bergmasse des Skülsen eingreifenden östlichsten der Bardićer Waldschluchten hinansteigt. (Taf. II, Fig. VIII.) Man sieht hier braun bis grünlichgrau anwitternde, im Bruche dunkelgraue, blättrige Tonschiefer mit einer breiten Einschaltung von ganz zermorschtem, bröckligem, graubraunem Sandstein, dann stark verquetschten Schieferkalk und hierauf nochmals Sandstein und Tonschiefer. An letzteren Gesteinen mißt man 30 bis 40° steiles Einfallen gegen SSW bis W, wogegen die stark gestörten Schieferkalke keine Lagerung erkennen lassen.

Nach Durchquerung des zuletzt genannten Schieferzuges wurde die untere Grenze der Kalkmassen erreicht, welche das mittlere Stockwerk und die Gipfelregion der Skülsenkette formen. Ein Besuch der steil aufragenden Spitzen dieser Kette sollte aus denselben Ursachen unterbleiben, welche ein Vordringen in die höheren Teile der Gebirgskette ober Bunjai hintanhielten. Leider traf es sich, daß gerade der Tag meines Ausfluges zur Einsattlung zwischen dem West- und Ostskülsen jener einzige Tag während meiner ganzen Reise war, an welchem sich das Kondensationsniveau des atmosphärischen Wasserdampfes weit unter die von mir erreichte Höhe hinabsenkte. Es war so nicht einmal eine optische Durchmusterung der zunächst gelegenen Gebirgsteile erzielbar und beschränkte sich meine geologische Fühlungnahme mit dem Skülsen auf die in dichtem Nebel vorgenommene Besichtigung einer Trümmerhalde, die nur die Nähe hoher Felshänge verriet. Bemerkenswert ist es, daß der durch seine eigentümlichen Anwitterungserscheinungen gekennzeichnete Kalk, welcher die Gipfelregion der Korja aufbaut und auch im Dragobjstale und in der Tropojaklamm getroffen wurde, in dieser Halde gänzlich fehlte. In zahlreichen Trümmern zeigte sich dagegen ein andernorts nicht zur Beobachtung gelangter, grau und weiß gestriemter und eine Neigung zu grobstengeligem Zerfall zeigender Kalk. Fast schien es, daß eine kleine Masse desselben am Haldenrande als Entblößung von anstehendem, bei Seigerstellung W—O streichendem Gestein zu deuten war. Auch dunkelgrauer Kalk mit weißen Kalzitadern, wie er westlich vom Valbonatale viel verbreitet ist und auf der Korja stellenweise Reste von Rudisten führt, war im Gebirgsschutte vertreten. Von sonstigen Bestandteilen der Trümmerhalde sind zu nennen: rein weißer, grobkrystalliner Kalk, weißer, dichter, von einem engmaschigen Netze feiner Sprünge durchsetzter Kalk, grauer Kalk mit dunkelgrauen, etwas mergeligen Linsen und breccienartiger Kalk mit weißen, dunkelgrauen und rötlichgrauen Flecken. Fossilreste traf ich in keinem dieser Gesteine an. Der Skülsen gipfelt in zwei durch eine tiefe Einschartung getrennten Teilen, von denen der westliche ein langer Grat, der östliche eine Felspyramide ist. Aus der Nähe besehen, erscheinen beide Teile gleich hoch, je weiter man sich von ihnen entfernt, um so mehr wird die Pyramide als der überragende und beherrschende Teil des Gebirges erkannt.

Das Tal von Tropoja.

Der größte unter den zahlreichen Seitenästen des Valbonaflusses, der Tropojabach, durchmißt auf seinem Laufe vier Talstücke von verschiedener geologischer Beschaffenheit und orographischer Stellung. Sein Unterlauf kommt in den breiten, mittleren Teil des Valbonenser Haupttales zu liegen und folgt hier einer dem Flußbette des Valbona fast parallelen' Rinne die gleich jenem Bette in

diluviale Konglomerate eingeschnitten ist. Der untere Teil seines Mittelstückes fließt durch einen linken Zweig des mittleren Valbonatales, welcher die vorgenannten Gräben auf der Südseite des Skülsen aufnimmt und selbst die Fortsetzung des östlichsten dieser Gräben bildet. Diese Teilstrecke des Tropojabaches schneidet in das Peridotitgebiet ein, während das ihm vorhergehende und das Skülsenvorland querende Verlaufsstück in der Schieferhornsteinformation liegt. Der Oberlauf des Baches, welcher eine östlich von der Skülsenkette in das nördliche Grenzgebirge eindringende Klamm durchrauscht, fällt in den Bereich der Kalke.

Der Übergang des unteren Tropojatales in das Haupttal von Valbona vollzieht sich ganz allmählich. Als geologische Grenze ist die Stelle anzusehen, wo der Tropojabach das Intrusivgebiet verläßt und in eine beiderseits von Konglomeratwänden begrenzte Rinne tritt. Im Bereiche der durch Olivinfels brechenden Bachstrecke bleibt der Felsgrund auf der linken Uferseite frei von jungen Deckschichten und zeigt sich längs des Bachrinnsals vielenorts entblößt, wogegen die höheren Hänge dichten Waldwuchs tragen. Zur Rechten des Tropojabaches dehnt sich oberhalb der steilen Uferböschung streckenweise ein sehr sanft ansteigendes Gelände aus das — mit Gras bewachsen — keine Aufschlüsse gewährt. Es setzt sich in die unteren Enden der vorhin beschriebenen Gräben fort und wird von deren Bächen durchfurcht.

Da, wo das östliche der beiden links von der Begajschlucht verlaufenden Gerinne in den Tropojabach einmündet, fällt die Menge großer Rollsteine von Quarzkonglomerat auf. Man trifft sie nicht nur im Rinnsal selbst, sondern auch auf den Wiesen zu dessen beiden Seiten. Weiter im Osten ist dagegen die Zahl der Quarzitbrocken auffällig groß, welche man auf den mit alten Schottern überstreuten Lehnen trifft. Erstere sind nach dem vorhin Gesagten von den westlichen, letztere von den östlichen Gehängen der Südseite des Skülsen abzuleiten. Auf der rechten Flanke des unteren Tropojatales finden sich nicht bloß in den Endstücken der vorhin genannten Gräben, sondern auch auf den sie trennenden Rücken Schotter und Lehme. Besonders beiderseits der Mulde von Ahmetaj, die sich zwischen den Makajgraben und das mittlere Tropojatal einschiebt, sind alte, teilweise mit Lehmen wechselnde feine Schotter mehrorts aufgeschlossen. Sie enthalten im Gegensatz zu den jungen Schottern nur sehr wenig Kalk, dagegen neben vorherrschenden Schiefern und Quarziten auch dioritische Gesteine, wie sie im Valbonatale und in dessen näherem Umkreise nicht vertreten sind. Auch auf dem Rücken zwischen dem Tropojabache und dem aus dem Peridotitgebiete im Südosten kommenden Bache von Majdan sind alte feine und gröbere Schotter zu sehen.

Mehrorts tritt auch auf der rechten Seite des Tropojabaches der Olivinfels in größerer Ausdehnung zutage. Am Wege von Bunjai nach Ahmetaj quert man zwei solcher Bloßlegungen und sieht dort den Bach in einem beiderseits von steilen Felsen eingerahmten engen Bette dahinrauschen. Dann tritt der Weg ein drittesmal aus Wiesen in felsiges Gelände ein und überschreitet gleich oberhalb der Mündung des aus der Mulde von Majdan kommenden Baches auf einer Holzbrücke den Tropojabach, um sich dann längs der rechten nördlichen Flanke jener Talmulde hinzuziehen. Das schluchtartige Aussehen, das der Einschnitt des Tropojabaches in der Gegend jener Brücke zeigt, hält auch bachaufwärts noch eine Strecke weit an, dann greift eine Erweiterung der Talrinne von Tropoja platz. Sie gestaltet sich zu einer zwischen Hügelzügen von Olivinfels eingesenkten Mulde, welche mit fluviatilen Bildungen erfüllt ist, in die sich der Bach ein weites, junges Bett gegraben hat.

Auf der rechten Uferseite zieht sich eine breite, mehrfach abgestufte Terrasse hin, die mit Maisfeldern bedeckt ist, wogegen die über sie aufragenden Peridotithügel mit Buschwald überwuchert sind. An dem etliche Meter hohen Steilabfalle der Terrasse gegen das rezente Bachbett sieht man mehrorts erdig-muschlig brechende, grünlichgraue, im gebleichten Zustand hellgraue, mangelhaft geschichtete Tone aufgeschlossen. Sie enthalten dünne ockerreiche Zwischenlagen sowie auch vermoderte Blatt- und Zweigbruchstücke und sind von einer mehrere Meter dicken Lage von grobem Schotter überdacht, der sich auch in den in die Terrasse eingesenkten Hohlwegen entblößt zeigt.

Zur Linken des Tropojabaches ist gleichfalls eine Schottervorlage der die Talmulde begrenzenden Anhöhen vorhanden. Auf diesen Höhen finden sich auch Reste der alten Schotter des Gebietes, so daß hier, wenn man die Geschiebemassen des rezenten Bachbettes hinzunimmt, fluviatile klastische Sedimente dreier verschiedener Altersstufen vertreten sind. In den alten Schottern werden auch hier Quarzite und Quarzkonglomerate ziemlich häufig angetroffen. Neben Anhäufungen von Geschieben sieht man hier oft noch als allerletzte Reste einer früheren Schotterdecke einzelne Rollsteine auf der Oberfläche der Verwitterungsschichten des Olivinfelses verstreut. In den rezenten Schottern des Tropojabaches fehlen dagegen Quarzkonglomerate anscheinend ganz. Hier herrschen Kalke weitaus vor; an zweiter Stelle stehen in Hinsicht der Menge die grünen Schiefer. Die Zahl der unterscheidbaren Abarten von Gesteinen der Schieferhornsteinformation ist da sehr groß. Bemerkenswert ist unter den Geschieben bei Tropoja ein von Chrysotil durchtrümerter Serpentin (2987). Das von einem feinen Netze goldglänzender Adern durchzogene schwärzlichgrüne Gestein sieht reizvoll aus. Kalkgeschiebe sind auch in der talabwärts von der weiten Mulde folgenden engen Strecke des Bachbettes des Tropoja weit vorherrschend. Es macht dort — fernab von der Ursprungsstätte derselben — einen eigentümlichen Eindruck, ein in Olivinfels eingeschnittenes Rinnsal ganz mit Kalkschottern erfüllt zu sehen.

Der Tropojabach erweist sich als ein typischer Torrente. Sein Bett ist in der Talweitung an die hundertfünfzig Schritte breit; zu Ende des Sommers waren hier aber nur zwei je 1—2 *m* breite seichte Wasseradern vorhanden.

Die Schlucht von Tropoja.

Innerhalb der Schieferhornsteinformation gestaltet sich auch die Talfurche des Tropojabaches zu einer in die Vorhöhen des Skülsen tief einschneidenden Schlucht. Kurz vor dem Übergang der im vorigen beschriebenen Mulde in jene Schlucht zweigt rechts ein größerer Seitengraben ab, der sich in dem Gelände östlich von der Bardićschlucht verästelt. Das erste Anstehende, was man zur Linken dieses Grabens nach Durchquerung der Terrassenschotter und der mit Eluvien bedeckten untersten Abhänge erreicht, ist eine Breccie aus Serpentin. Gleich weiter oben stehen mittelsteil gegen NW bis NNW einfallende dunkle Schiefer an, die mit dünnen Lagen von grobem Sandstein wechseln. (Taf. II, Fig. IX.) Dann sieht man gegen O verflächenden Sandstein in Verbindung mit stark verbogenen und verdrückten Schiefern. Hierauf folgt wieder ein Serpentinvorkommen. Dieses befindet sich links oberhalb einer Stelle, wo der besagte Graben scharf gegen O umbiegt und rechterseits zwei Seitengräben empfängt. Talaufwärts von dieser Stelle stehen zur Linken des sich nun verengenden Hauptgrabens Kalke an, die mittelsteil gegen SO verflächen. Es sind teils Schieferkalke, teils dichte graue, von weißem Kalzit durchtrümerte Kalke. An einer folgenden mit Ausweitung zu einem kleinen Wiesental verbundenen Rückbiegung des Hauptgrabens gegen N wurde eine Felsmasse von rotem, weiß geädertem Marmor festgestellt. Am gegenüberliegenden rechtsseitigen Hange fanden sich viele Trümmer dieses Gesteins sowie auch solche von Jaspis und Hornstein.

Zur Linken des besagten Wiesentälchens treten wieder Kalkriffe zutage, bei denen die Lagerung aber undeutlich ist und ostsüdöstliches Fallen nur vermutungsweise angebbar erscheint. Im Liegenden dieser Kalke zeigt sich ein dolomitischer Kalk, der 40° gegen O verflächt. An den das Tälchen links begleitenden Höhen sieht man Kalkzüge hinstreichen, die auf mittelsteiles OSO-Fallen als regionalen Befund hinweisen. Weiter oben wendet sich der Graben nach W und nimmt dort links einen dicht bebuschten Seitenast auf, der großenteils in grüne, rostig anwitternde Schiefer eingesenkt ist, die gegen OSO bis O verflächen. In der Wurzelregion des Grabens tritt innerhalb der Schiefer mehrorts Serpentin auf. Man trifft ihn in der Grabensohle, dann in den obersten Verzweigungen des Grabens und besonders im Bereiche der seinen Anfangsteil umgebenden Hügelkuppen. Ein größeres Vor-

kommen dehnt sich über den flachen Sattel aus, der nordwärts von der in die östliche Ausbiegung des Grabens sich von West her einschiebende Schieferkuppe in einen linken Seitenast des Makajgrabens hinüberführt. Es reicht bis auf die Hügel im Norden dieser Sattelfläche und zieht sich andererseits über die Kammeinsenkung hinweg, die von der Sattelfläche zu dem einen der beiden früher erwähnten westlichen Seitenzweige des unteren Grabenabschnittes hinüberführt. In dieser Einsenkung ist die Serpentin-Schiefergrenze bloßgelegt. Beide Gesteine sind aber am Kontakte stark verwittert, der Schiefer erscheint verdrückt, der Serpentin zu einer Trümmermasse zerfallen. Auf den nordwärts stehenden Hügeln ist dagegen die Entwicklung glänzender Pikrolithkrusten sehr reichlich.

Am Südhang der besagten Einsenkung herrscht eine große lithologische Mannigfaltigkeit der Schieferhornsteinformation. Folgt man dem Pfade links von dem zur Senke hinaufziehenden Graben, so trifft man zunächst oberhalb der Schotter des Talgrundes reichlich dunkelroten Jaspis, dann ein Vorkommen von grauem, weißgeädertem Kalk, höher oben auf einem Vorsprung des Gehänges Serpentin, dann rot und weiß gefleckten Marmor, grünen, rostbraun anwitternden Tonschiefer und eisenschüssigen Sandstein, worauf man zu dem schon erwähnten Serpentin in der Kammeinsenkung gelangt. Die Lagerungsverhältnisse sind bei diesem Aufstiege kaum erkennbar; man sieht von den angeführten Gesteinsarten meist nur kleine Klippen aus der eluvialen Schutthülle hervorschauen.

Am Eingang in den schluchtartigen oberen Teil der Furche des Tropojabaches stehen beiderseits des dort noch breiten Bachrinnsals Olivinfelsmassen an. Die alten Schotter der muldenförmig ausgeweiteten Talstrecke finden dort ihr Ende. Zur Linken, neben der Djamja von Tropoja, kleben noch Reste solcher polygener Schotter, zu einem horizontal geschichteten, festen Konglomerat verkittet, dem Gehänge an. Im Bachbette trifft man auch ganz junge Geschiebe mehrorts zu Konglomerat verfestigt an. Grobe Trümmer- und Schuttbreccien bilden stellenweise die steilen Böschungen des Bettes. Nach Durchwanderung des in Olivinfels eingeschnittenen Talstückes, welches landschaftlich ganz der Talenge des Valbona zwischen Grigaj und Gegušenj gleicht, gewahrt man rechts vom Bache eine abgerutschte Masse eines in liegende Falten zusammengequetschten grauen feinkörnigen Kalkes mit Hornsteinlinsen sowie eine 60° WSW einfallende Masse solchen Kalkes, der Zwischenlagen von Schiefer führt. Weiter bachaufwärts ist mittelsteiles WSW-Fallen schiefriger Kalkschichten erkennbar. Die dann folgende Talstrecke schneidet in stark verwitterte dunkeleisengraue, von Kalzit durchtrümerte Schiefer ein.

An diese Gesteinszone reiht sich steil gegen O bis ONO verflächender Grünschiefer in Verbindung mit Serpentin. Man sieht hier beiderseits des mit großen Schieferblöcken erfüllten Bachrinnsals grünlichgraue Lehmaufrisse und mehrorts eine breccienartige Verkittung der Zerfallsmassen des Serpentin. Taleinwärts von einer kleinen, einsam im Schluchtgrunde stehenden Mühle folgen dann wieder stahlgraue spießig zerfallende Schiefer, die sanft gegen NO und dann gegen SO einfallen. An sie schließen sich stark zerknitterte Kalkschiefer und Glimmerkalke mit kleinen Linsen von gelblichem Kalkspat und vielen Knauern von weißem Qarz. In Verbindung mit ihnen erscheinen graue gleichfalls stark gefaltete plattige Kalke, die ein mittelsteiles südwestliches Einfallen zeigen. Am Beginne der Ausweitung des Schluchtgrundes zu einem kleinen Talboden, kurz bevor sich die Schlucht zu einer Klamm verengt, sind spießige, tiefgraue, dunkelbraun anwitternde Tonschiefer entblößt.

Am Eingang in die Klamm steht gut geschichteter Bänderkalk mit mäßig steiler südlicher Neigung an. (Taf. II, Fig. VII.) Er besteht aus abwechselnden Platten von grauem, streifigem Kalk und dickeren Lagen eines weißen, gelblich anwitternden Kalkes, dessen Schichtköpfe infolge reichlicher Furchen- und Schrattenbildung eine höckerige Oberfläche zeigen. Fossilien fanden sich in ihm keine vor. Böiges Unwetter zwang mich, in einer kleinen Höhle oberhalb der durch diesen Kalk gebildeten Barre Schutz zu suchen und auf eine Erforschung des zwischen hohen Steilwänden auf nur wenige Meter Breite eingeengten Anfangsstückes des Tropojatales zu verzichten. An den rechtsseitigen Hängen der Tropojaschlucht trifft man an dem sich hoch über dem Schluchtgrunde an einer Hüttengruppe vorbeiziehenden Wege dort, wo dieser Grund in Schieferkalke eingeschnitten ist, gleichfalls kalkreiche Schiefer

in Verbindung mit Sandsteinen und grauen Kalken, die 40° gegen WSW einfallen, zum Teil auch steil aufgerichtet sind. Dann folgt ein breites Schieferband und dann das Gebiet der Kalke. Sie bilden hier rechts vor dem Eingang in die Klamm, mäßig steil bis mittelsteil gegen SW einfallend, einen in hohe Wandstufen gegliederten Steilhang. Vorherrschend ist ein grauer dichter Kalk mit spärlicher Kalzitdurchtrümerung und plattigen Zwischenlagen. In dem den Fuß des Abhanges besäumenden Schutte fanden sich auch Stücke eines dem Gestein am Korjagipfel ähnlich sehenden Kalkes, der aus höheren Teilen des Gebirges stammen muß.

Von Osten aus gesehen hebt sich die Zone der Kalkschiefer und der braun anwitternden Tonschiefer zwischen den mit Serpentin verknüpften grünen Schiefern und den Kalken landschaftlich mit Deutlichkeit heraus. Auf der linken Seite der Tropojaschlucht fehlt aber die rechts gut entwickelte Zone der braun anwitternden Schiefer und reichen die Grünschiefer bis an die Kalkmassen heran. Man sieht sie hier in stark verwitterndem Zustand den gut geschichteten, gegen S einfallenden Kalken aufruhen, welche den links vom Eingang in die Klamm emporsteigenden Schrofen bilden. (Taf. II, Fig. VII.) Die Grenze wird durch einen tiefen Wasserriß bezeichnet. Weiter talauswärts ist an der Ostflanke der Tropojaschlucht 40° steiles ostsüdöstliches und dann östliches Verflächen der Schiefergesteine erkennbar.

Die Mulde von Pjani.

Die Mulde von Pjani liegt östlich vom unteren Valbonatale. Sie wird durch den Bach Busterica gegen Nord, zum Mittellaufe des Valbona hin, entwässert, wogegen sich die ihr ostwärts benachbarte Talmulde von Deg gegen Süd, zum Drin zu, öffnet. Der die Mulde von Pjani vom Valbonatale scheidende Höhenzug hat eine breite, flach gewellte Rückenfläche und mäßig stark geneigte, schwach zertalte Flankenteile. Es zeigt sich hier das Landschaftsbild des Peridotitgebietes, wie man es dann auch weiter gegen Nord und Ost in steter Wiederholung seiner wesentlichen Züge und ohne nennenswerten Formenwechsel antrifft. Die sanft geneigten Hänge sind mit vielen stumpfkantigen Blöcken und Trümmern, den Produkten des an Ort und Stelle sich vollziehenden Gesteinszerfalles, übersät. Daneben tritt auch oft anstehendes Gestein in kleinen Riffen und Klippen auf. An den steilen Hängen und in den tief eingefurchten Gräben sind auch größere Felsbildungen zu sehen. Die flachen Rücken sind weithin mit eluvialen Roterden bedeckt, in den seichten Mulden zeigen sich sumpfige Stellen, aus denen sich kleine trümmerreiche Rinnsale entwickeln. Die auf den Abhängen verstreuten Blöcke und Klippen haben die den Olivingesteinen eigentümliche Verwitterungsfarbe: schmutzig ockergelb bis rostbraun, oft ins Morgenrote spielend. Die eluvialen Erden sind im Farbenton den Roterden der Karstkalke ähnlich, vielleicht im Gesamtton etwas heller, aber weniger intensiv rot als der Laterit. Eine eigenartige Buntscheckigkeit weisen die steilen Hänge auf. Die Felsen sind da teils rostbraun, teils — wo Serpentinkrusten erscheinen — lauch- bis spangrün gefärbt, wogegen die Trümmerhalden eine dunkelorangegelbe Farbe zeigen.

Der Rücken auf der Ostseite des unteren Valbonatales wurde anläßlich des Ausfluges zur Ćafa Pjanit in seinem südlichen Teil zweimal überquert und bei Gelegenheit der Exkursion nach Lusz und Bitüči in seiner Nordhälfte der Länge nach überschritten. Es zeigte sich da eine ziemliche Einförmigkeit betreffs der petrographischen Sachlage. Das herrschende Gestein ist Harzburgit in teils wohl erst beginnendem, teils aber schon mehr oder minder vorgeschrittenem Stadium der Umwandlung in Serpentin. Auf der dem Becken von Pjani zugekehrten Rückenseite fanden sich in einiger Menge braun anwitternde, im Bruche gelblichweiße. kieselsäurereiche Ausscheidungen, welche teils die knollig traubigen Formen des Chalzedons aufweisen, teils eine eigentümliche grobzellige Struktur besitzen. Der die Mulde von Pjani vom Drintale trennende Gebirgswall ist dem eben genannten völlig ähnlich; der die Mulde ostwärts abschließende Rücken steigt zu größerer Höhe an, in zwei 1200 *m* hohen Kuppen: Suka

Mokens und Suka Pjanit gipfelnd. Im Bereiche dieses Rückens, welcher das Gebirgspanorama von Raja gegen Ost begrenzt, wurden die Čafa Pjanit, eine südwärts von der ersten Kuppe gelegene Einsattlung und der Nordabhang der letzteren Kuppe untersucht. Auf der Čafa Pjanit, einem nur etwa 12 *m* breiten, beiderseits ziemlich steil abfallenden Sattel, bei dessen Besuch mich leider heftiger Regen überraschte, fand sich Harzburgit in ähnlicher Ausbildungsweise wie im Westen der Pjanimulde vor.

An den unteren Nordhängen der Suka Pjanit, links vom Zusammenflusse des Tropoja und Valbona, trifft man in dem dort mehr verwitterten bronzitführenden Olivinfels mehrorts schmale, etwa 2 *cm* dicke, selten bis zu 2 *dm* mächtige gangförmige Ausscheidungen von Bronzit. Sie setzen, manchmal sich durchkreuzend, ziemlich geradlinig durch das Gestein. An dessen Oberfläche wittern sie als schwach vortretende Wülste aus. Manchmal ist das sie begrenzende Gestein auf einer Seite schon entfernt und erscheint der Pyroxen dann als Überzug oder Kruste von Felsflächen. Die Bronzitausscheidungen sind mehr oder minder grobkrystallin. Man sieht Krystallflächen bis zu einigen *cm* Breite und Länge. Zahlreich sind lose Stücke von Bronzit zu finden (2985). Sie fallen unter den hier wegen ihrer oft weit vorgeschrittenen Dekomposition gelockerten Harzburgittrümmern durch größere Festigkeit und größeres Gewicht auf. Im Gegensatz zu jenen durch das Auswittern kleiner Einsprenglinge wie mit vielen Höckerchen und Knötchen besetzt erscheinenden Trümmern zeigen sie die durch viele aus- und einspringende Ecken und Kanten gekennzeichnete Oberflächenskulptur krystalliner Aggregate; auch sind sie zum Unterschied von den mit einer schmutziggelben Rinde überzogenen Olivinfelstrümmern dunkelbraunrot anwitternd; erst beim Anschlagen mit dem Hammer bekommt man die lichtgrünlichen, halbmetallisch glänzenden Krystallflächen zu Gesicht. Auch lose Stücke von Harzburgit mit durchsetzendem Pyroxen ließen sich am Nordhang der Suka Pjanit sammeln. Reichlich fanden sich dort traubige und nierenförmige Knollen von Chalzedon mit weißer oder blaßgelblicher Farbe der muschligen Bruchflächen. Ein etwa 18 *cm* breiter Pyroxenitgang ist schön an einer Stelle aufgeschlossen, wo die von den Montenegrinern angelegte, aber erst teilweise gebaute Straße nach Lusz nahe dem Bachbette der Bistrica verläuft. Das von den vorbesprochenen Höhen im Westen, Süden und Osten eingeschlossene Gebiet stellt eine flache, an ihren Rändern mehrfach ausgebuchtete unregelmäßige Mulde dar. Sie ist mit eluvialen und alluvialen Bildungen erfüllt. Die sich in ihr entwickelnden, von steilen, niedrigen Lehmböschungen besäumten Bachrinnsale vereinen sich nach anfänglich geschlängeltem Verlaufe zum Flüßchen Busterica, dessen Mündung in das Flußbett des Valbona schon Erwähnung fand.

Die Talnische von Lužs.

Im Gegensatz zum Gelände von Pjani, welches eine fast ringsum geschlossene Seitenmulde des Valbonatales bildet, stellt die Gegend von Lužs einen gegen dieses Haupttal weit geöffneten und so nur als eine Nische desselben anzusprechenden Graben dar. Im Süden wird derselbe durch den hohen Rücken abgeschlossen, der sich von der früher genannten Kuppe Suka Pjanit gegen Ort erstreckt und zugleich die nördliche Umrandung des zum Drin entwässerten Tälchens von Deg herstellt. Die östliche Begrenzung der Talnische von Lužs wird durch die Anhöhen gebildet, welche gleichzeitig das mittlere Valbonatal gegen Ost abschließen. Aus diesen erhebt sich bis zu 1250 *m* die Bergkuppe Kodra Lužs. Zwischen ihr und dem hohen Rücken im Süden führt eine breite Einsattlung, die ein in ihrer Mitte aufragender Felskopf in zwei Sättel teilt, in das Krumatal hinüber.

An den unteren Südhängen der Talnische von Lužs treten klastische Bildungen aus intrusivem Gesteinsmaterial auf. Besonders gut sind sie in einem Wasserrisse nahe östlich von der Djamia Lužs erschlossen. An den Seitenwänden dieses Risses sieht man undeutlich geschichteten Schutt von Olivinfels zu einer Breccie verkittet. Es sind da Trümmer sehr verschiedener Größe, auch Blöcke durcheinander gemischt. Die Trümmer zeigen den gewöhnlichen graugelben Farbenton, indessen die Kittmasse dunkelbraunrot ist. Die felsige Sohle dieses Wasserrisses besteht auch streckenweise aus

der Oberseite einer härteren, flach liegenden Breccienbank. Beim Anblick der jähen, zum Teil überhängenden, zernagten Wände und der dunkelroten Farben in dieser Schlucht glaubt man sich in einen Barranco einer jungvulkanischen Gegend versetzt. Vermutlich ist aber nicht das ganze, sanft abdachende Gelände im weiten Umkreise der Djamia von Lužs mit Trümmerbreccien überdeckt. Ihr Vorkommen scheint an die Ausgänge der im Südhange des Lužstales zur Entwicklung kommenden Gräben geknüpft. Im unteren Teil jenes Grabens, der zur Čafa Lužs, dem südlichen der früher erwähnten Sättl, ehinanzieht, sieht man gerundete Stücke von Harzburgit zu einem Konglomerat verkittet, auch feste, harte Sandsteine, die teils flach liegen, teils etwas geneigt sind und aus fein zerriebenen Zerfallsmassen des vorgenannten Tiefengesteins zu bestehen scheinen.

Auf der Ostseite des Lužstales tritt mehrorts noch ziemlich frischer Peridotit zutage. Er fällt durch große Härte und Erhaltung seiner Eigenfarbe an der Gesteinsoberfläche auf. So sieht man ein Bachbett am Südhang der Kodra Lužs in kantige, dunkelgrüne Felsen eingeschnitten. Auch am Fuße der westlichen Vorhöhen der genannten Kuppe sind dunkelgraugrüne, fast noch frische Olivinfelse zu sehen, die dem Geologenhammer zähen Widerstand leisten. In vielen Fällen zeigt sich aber der gewöhnliche Befund eines innen zwar noch wenig umgewandelten, jedoch mit einer braunen Rinde überzogenen Gesteins. Mehrorts trifft man aber auch schon stark verwitterte Felsstücke, die sich leicht zertrümmern lassen und auch im Bruche stets eine grünlichbraune Farbe zeigen. Oberhalb des vorerwähnten Bachbettes, nicht weit unterhalb der Gipfelkuppe der Kodra Lužs fand sich ein Diallagvorkommen, ähnlich dem vom Nordhang der Suka Pjanit beschrieb enen, jedoch von viel geringere Ausdehnung. Auf der Westseite des nordwestlichen Vorberges der schon wiederholt genannten Kodra Lužs traf ich nahe dem Gebirgsfuße in stark verwittertem Gestein eingesprengt Chromit und Chromspinell. Die Örtlichkeit liegt dort, wo die vom Ostrande der Konglomeratdecke des mittleren Valbonatales ansteigenden Hänge ihre Neigung gegen SW mit einer solchen gegen WNW vertauschen. Es scheint sich dort wohl nicht um eine bedeutende magmatische Erzausscheidung zu handeln. Doch muß Chromeisenstein im Gebirgszuge östlich vom Lužstale jedenfalls in einiger Menge enthalten sein, da ich Brocken dieses Erzes in den losen Massen des Talgrundes fand (2971, 2972, 2973, 2974).

Mit der zum Teil starken Verwitterung der Peridotite an den Hängen des Lužstales steht eine reichere Wasserführung in Beziehung. Die Auflagerung gelockerten Gesteines auf frischem, undurchlässigem begünstigt die Quellbildung und — wo es nicht zu einer solchen kommt — doch das Auftreten feuchter und versumpfter Stellen. An der südlichen Talseite trifft man solche Stellen zahlreich auf dem Wege, welcher von der Ortschaft Lužs zum gleichnamigen Sattel hinanzieht. Die Dekomposition der Olivinfelse ist dort besonders weit gediehen. Auch an den unteren Südhängen des Westgipfels der Kodra Lužs ist eine sumpfige Geländezone zu bemerken, in der es zur Entwicklung eines Quellenhorizontes kommt.

Der flachwellige Grund der Talnische von Lužs erfährt durch einen flachen Rücken, der sich von der Trennungskuppe der beiden nach dem Krumatale führenden Sättel westwärts niedersenkt, eine tiefe Spaltung in zwei seichte Gräben. In diesen Gräben kommen durch die vorgenannten Wasserzutritte genährte Bäche zur Entwicklung, aus deren Vereinigung die Bistrica hervorgeht, welche kurz vor dem Zusammenflusse des Valbona und Tropoja in diesen letzteren mündet. Betreffs der Herkunft der Geschiebemassen ist in den Betten dieser Bäche ein auffälliger Unterschied zwischen dem Ober- und Unterlauf vorhanden. In den Oberläufen beider Wasseradern trifft man nur die Olivin- und Pyroxengesteine aus dem nahen Talhintergrunde an; in den Unterläufen treten sie gegenüber den Gesteinstypen der Kalk- und Schieferformation des oberen Tropojatales allmählich zurück. An der steilen linken Uferböschung des südlichen Lužser Baches sind unterhalb der Djamia weiße sowie auch gelbe, braune und grau-grüne Lehmschichten aufgeschlossen, die mit grauen, von Schotterlinsen durchschwärmten Sandlagen wechseln. Die Schotter führen auch Kalkgeschiebe, wogegen die farbigen Lehme ganz von Eluvien der Olivingesteine und Serpentine abzuleiten sind. Lichte Lehme und Tone sieht man dann auch weiter ostwärts bloßgelegt.

Rechterseits des nördlichen Baches zeigen sich kurz vor seinem Zusammentritt mit dem südlichen neben hellgrauen Lehmen schon Bänke von Kalkschotter. Das sich von da weit gegen Nord ausdehnende Terrassenland besteht aber nicht zur Gänze aus Anschwemmungen des Tropoja. In der Gegend des Zusammentrittes der beiden Bachrinnsale des Lužstales und noch weiter westwärts tritt an der Nordböschung des vereinigten Bachbettes wieder Peridotit zutage. Da dort auch von der Südseite her ein Gehängesporn vorspringt, erscheint, obwohl die Talnische von Lužs allmählich in das Haupttal von Valbona übergeht, der Boden jener Nische gegen die Sohle des Haupttales abgeschnürt. Die Geschiebebetten der beiden Bäche von Lužs haben im Vergleich zur geringen Ausdehnung des Tales eine große Breite, was immerhin auch auf eine starke oberflächliche Entwässerung weist. Verstreut trifft man Gerölle und Geschiebe neben eluvialem Schutt, aber auch noch außerhalb der rezenten Bachrinnsale. Man hat es da mit letzten Resten einer früheren weiteren Verbreitung von alten Tropojaschottern zu tun. In Anhäufungen losen Gesteinsmaterials von verschiedener Herkunft fanden sich unweit des nördlichen Bachbettes verstreut nuß- bis faustgroße Brocken von Chromit. Bekanntlich pflegt es nur in regenarmen Gegenden der Fall zu sein, daß in den Wasserrissen eines Chromerz führenden Gebirges eine solche Anreicherung an diesem Erze stattfindet, daß es zur Bildung abbauwürdiger Seifen kommt. Da das hier besprochene Gebiet aber nur als ein zu Sommerdürre neigendes zu bezeichnen ist, im übrigen jedoch reicher Niederschläge nicht entbehrt, wird bei vorläufiger Abschätzung des Wertes dieser von mir auf sekundärer Lagerstätte gemachten Chromerzfunde wohl Zurückhaltung am Platze sein.

Der Graben westlich von der Čafa Morins.

Gleich dem mittleren Valbonatale nimmt auch das Tropojatal, als dessen orographische Fortsetzung ja das erstere erscheint, auf seiner linken Seite Gräben auf, die aus dem Peridotitgebiete kommen. Der größte dieser Gräben ist jener von Majdan, welcher in das Hügelland östlich vom mittleren Valbonatale eingreift. Dieser Graben wurde von mir nicht besucht. Soweit sich von den Abhängen des Skülsen aus ein Einblick in die Gegend von Majdan erzielen ließ, stellt sie ein reichverzweigtes Grabensystem dar, das sich westwärts durch die nördlichen Vorberge der Kodra Lužs begrenzt, ostwärts an den im Süden der Čafa Morins gelegenen Teil der Wasserscheide zwischen dem Tropoja und Erenik anlehnt und gegen Süden durch den Rücken abgeschlossen wird, der den mehrteiligen mittleren Wurzelgraben des Krumatales von der Nordseite her umgreift. Nach den Bergformen und Gesteinsfarben zu schließen, baut sich die Umrahmung des Gebietes von Majdan — soweit sie von den Skülsenhängen aus sichtbar wird — ganz aus Peridotiten auf.

Der Majdanbach tritt gleich vor der bei früherer Gelegenheit erwähnten Stelle, wo der Pfad von Bunjai nach Djakova das Bachbett des Tropoja auf einer Holzbrücke überschreitet, in dieses ein. Sein Endstück bricht durch eine Felsbarre, vorher durchfließt er eine weite Wiesenmulde, an deren flach zertaltem Nordgehänge sich der vorgenannte Pfad hinzieht. In seichten Mulden kommt es hier zu mächtiger Entwicklung dunkelbrauner, eluvialer Erden, in die sich tiefe Wasserrisse eingegraben haben. Auf den flachen Bodenwellen zeigt sich ganz dasselbe Bild wie auf den Höhen um Pjani, auch die kleine Schlucht des Majdanbaches und die anschließenden Engen der Tropojarinne gleichen landschaftlich ganz den stark felsigen Strecken des Valbonatales unterhalb jener Höhen. Weiter ostwärts quert der Weg zum Sattel von Morins ein kalkreiches Geschiebebett, das in den Majdanbach einmündet und aus dem im Nordosten der genannten Wiesenmulde ausgebreiteten Gelände kommt. Der Hauptast dieses Bachbettes nimmt im Gebirge östlich von der Skülsenkette seinen Ursprung. Dies erklärt es leicht, wieso das Bett des Majdanbaches da, wo es sich durch die früher erwähnte Wiesenmulde schlängelt, reich an Kalkgeschieben ist, obschon dort weit im Umkreise nur Silikatgesteine sichtbar sind.

Ein Seitenast des vorgenannten Rinnsals kommt von der Westflanke der Čafa Morins herab. Der Weg zu diesem Sattel zieht sich nun am Hange links vom eben genannten Rinnsal hinan, das nur Geschiebe von Olivinfels führt. An diesem Hange trifft man ähnlich wie zu beiden Seiten des Lužstales mehrorts sumpfige Stellen an, aus denen sich schwache Wässerchen entwickeln. Näher gegen die Sattelhöhe zu zeigen sich Gesteinsabarten mit Einsprengung von größeren Schuppen von Bronzit und Blättchen von Diallag. Stellenweise kommt es auch zur Ausscheidung dieses letzteren Minerals in Form schmaler Gänge, doch erreichen hier die Krystalle lange nicht jene Größe, zu der sie auf der Suka Pjanit und namentlich in Bitüči anwachsen. Am Nordhang des zur Čafa Morins hinanziehenden Grabens ist die Grenze zwischen dem Gebiet der Harzburgite und der Schieferhornsteinformation, die auch ostwärts vom Skülsen als Vorlage der Kalkberge weiterstreicht, gut zu verfolgen. Sie senkt sich ostwärts bis nahe zur Sohle einer aus der Schieferzone vorbrechenden Bachschlucht und steigt dann wieder etwas an. Die Sattelregion fällt noch ganz in das Peridotitgebiet.

Der an der Westflanke der Čafa Morins entspringende Graben nimmt links mehrere Furchen auf, zwischen denen trennende Rücken liegen. Bei Querung der Einsattlung überschreitet man so mehrere Bodenwellen, bis der wasserscheidende Wall erreicht ist. Schon beim Anstieg zur Sattelhöhe trifft man weit verstreut Rollstücke von Gesteinen der Westseite des Tropojatales. Auch im Gelände östlich vom Tropojaflusse und im Norden des Majdanbaches sind Geschiebe und Gerölle gleicher Herkunft anzutreffen. Sehr bemerkenswerte Reste jener alten, schon wiederholt genannten Schotter finden sich auf der Sattelhöhe von Morins ein wenig ostwärts von dem wasserscheidenden Walle. Es zieht sich dort ein breiter Rücken gegen Osten, welcher südwärts ziemlich steil zu einem auf der östlichen Sattelflanke wurzelnden Graben abdacht. Auf dem Rücken findet man bei einigen verfallenen Hütten viele Quarzittrümmer und dann in einer durch einen Hohlweg aufgeschlossenen Schuttdecke Rollstücke von Quarzit und Quarzkonglomerat sowie solche von Grünschiefer, dunklem Tonschiefer und Jaspis. An die steile Südflanke des Rückens, der sich aus Olivinfels aufbaut, schmiegen sich an einer Stelle, die unweit des vorgenannten Hohlweges gelegen ist, Konglomerate an, die sich auch als sehr polygen erweisen. An diesen alten Schotterresten, die eine Anzahl nebeneinander stehender dicker Pfeiler und eine Felswandstufe formen, führt ein Weg vorbei, welcher erst kurz vor der Wasserscheide deren Höhe gewinnt, wogegen der über den Rücken ziehende Hauptpfad durch den erwähnten Hohlweg führt. Die Seehöhe der Čafa Morins wird fraglich zu 650 *m* angegeben; in dieser Höhe müssen demnach noch zur Bildungszeit der alten Schotter Nordalbaniens Flußläufe vorhanden gewesen sein.

Das Talbecken von Bitüči.

Dieser vorletzte Abschnitt der geologischen Gebietsbeschreibung handelt gleich dem folgenden letzten über ein Gebiet, das nicht mehr dem Valbonatale zugehört. Das Talbecken von Bitüči birgt die Quelladern des Kruma, des ersten größeren Gewässers, welches der vereinigte Drin zu seiner Rechten aufnimmt. Das Bitüčer Becken liegt gerade in der Mitte des östlich vom Tale des Valbona ausgedehnten Hügellandes. Es gliedert sich in eine sich bis zur Čafa Lužs erstreckende westliche und in eine bis zum Sattel von Skols reichende östliche Hälfte. Am Zusammentritt beider nimmt das gegen SO streichende obere Krumatal seinen Ausgang und ihm gegenüber dringt dort eine Nische in das nördliche Gebiet ein.

Von der Čafa Lužs senkt sich gegen Ost ein enges Tal hinab, in welchem der dort gleichwie in der Gegend von Lužs herrschende Peridotit in blockigen, stark klüftigen Felsmassen angetroffen wird. Er tritt da in noch ziemlich frischem Zustande in einer lichteren Varietät mit ölgrüner Grundmasse und dunklen Einsprenglingen auf. Daneben trifft man aber auch schon stark veränderte Gesteine, in denen die Grundmasse ockergelb und nur die eingesprengten Körner noch dunkelgrün erscheinen. Allmählich weitet sich das Tal, gewinnt einen ebenen Boden und vor den Nordhang legt sich eine sehr

sanft abdachende Lehne, in welcher sich aus feuchten, binsenbewachsenen Stellen viele kleine Rinnsale entwickeln, welche dem sich durch die gleichfalls etwas sumpfige Talsohle ziehenden Geschiebebette zueilen. Die gleichmäßig geneigten Teile dieser Lehne entsprechen einer Schuttvorlage des Gehänges. Streckenweise tritt zwischen ihnen aber anstehendes Gestein zutage.

Im Bachbette, welches aus dem in die Nordwand des Talbeckens eindringenden Graben kommt, fand ich zahlreiche Trümmer eines Hypersthengabbros, in welchem Plagioklas und Hypersthen nebst Diallag in ziemlich gleichem Maße auftreten und sich der erstere noch wenig verändert zeigt. Dieser Fund unterbrach in sehr erfreulicher Weise die Eintönigkeit der bis dahin gesammelten, stets feldspatfreien Gesteine. Leider fand sich nicht Gelegenheit, die Wurzelgräben der besagten Talnische zu durchstreifen, um die Ursprungsstätte jener Gabbrotrümmer aufzufinden und über die Art der Verbindung des als solche Stätte anzunehmenden stockförmigen Vorkommens mit dem umgebenden Peridotite Aufschlüsse zu erlangen sowie die Ausdehnung des Gabbrostockes oder — wenn es deren mehrere sein sollten — der Gabbrostöcke festzustellen. Die Fixierung seiner, beziehungsweise ihrer Lage wäre dagegen insofern weniger als Ziel in Betracht gekommen, als dieselbe bei dem ja nur mäßigen Umfange, den das Sammelgebiet des die Gabbrostücke führenden Baches haben kann, für die Zwecke einer ersten geologischen Gebietsaufnahme schon einigermaßen bestimmt erscheint und insofern eine genaue Festlegung beim Mangel jeder topographischen Grundlage sich überhaupt nicht hätte erzielen lassen. Soweit Einblick in das als Ursprungsgebiet der Gabbrogeschiebe in Betracht kommende Gelände zu gewinnen war, zeigte sich dort keine Abweichung von dem für die Olivin- und Pyroxengesteine so bezeichnenden Landschaftsbilde. Leider war ich auch tags darauf durch ein Unwetter gezwungen, bei einer Besteigung der wiederholt genannten Kodra Lužs kurz vor Erreichung des Gipfels umzukehren, von dem aus ich einen guten Einblick in die den vermuteten Gabbrostock wahrscheinlich bergenden Gräben erhofft hatte. Neben Hypersthengabbro (2977) enthält das Bett der mittleren Quellader des Kruma auch Stücke von Uralitgabbro (2978) und zahlreiche glasglänzende Serpentine.

Die Osthälfte des Talbeckens von Bitüči ist der westlichen Beckenhälfte in Form und Größe nicht unähnlich und enthält auch eine dem Nordhang vorgelagerte, sehr sanft abdachende Geländezone, in welcher sich kleine Rinnsale entwickeln, die der linken Quellader des Kruma zustreben. In den reich durchfurchten Südhang des diese Ader bergenden Beckenteiles dringt eine größere Nische ein und vor dieser steht links vom Geschiebebette der besagten Wasserader ein Hügel, welcher einen interessanten Befund zeigt. Man trifft hier ein stockförmiges Vorkommen von Diallagfels, welches sich als umfangreiche Ausscheidung innerhalb des Harzburgites erweist. Die in verschiedener Orientierung verwachsenen, dicktafeligen bis breitsäulenförmigen Krystalle messen hier an einzelnen Stellen in ihrer längsten Dimension bis zu 5 *cm* und darüber, dazwischen kommen auch Gesteinspartien vor, in denen sich die Durchschnittsgröße der Krystallindividuen in weit engeren Grenzen, unter 1 *cm*, hält. Außer Diallag kommt auch Enstatit in großen Krystallen vor. Der Diallag tritt am erwähnten Hügel besonders auf dessen flacher Kuppe in kleinen, niedrigen Felsriffen zutage. Dieses Vorkommen unterscheidet sich von den sonst noch im durchzogenen Gebiete angetroffenen Diallagvorkommen durch seine stockähnliche Form und durch seine Größe.

Den Übergang in den umgebenden feinkörnigen Peridotit vermittelt ein Gestein, in welchem in einer graugrünen Grundmasse rhombische und auch monokline Pyroxene noch zahlreich in bis zu 1 *cm* langen Krystallindividuen ausgeschieden sind (2975). Ein diesem ähnliches Gestein begleitet und umgibt auch die gangförmigen Ausscheidungen von Diallag, deren Erscheinen sich so stets schon früher durch sehr vermehrtes Auftreten glänzender Punkte am Boden kundgibt, ein Befundwechsel, der naturgemäß schon auf einige Entfernung hin auffällt und so auch vom Pferde aus der Beobachtung nicht entgehen kann. Neben den genannten Gesteinstypen findet sich im östlichen Bitüči viel dunkler Serpentin mit dünnen Bändern und Schnüren von Chrysotil, der hier wie Silber glänzt und so eigentlich sprachlich streng genommen eine andere Benennung, Argyrotil, haben sollte (2976).

Die Čafa Skols, welche das Talbecken von Bitüči gegen Ost abschließt, ist ein einige Dutzend Schritte breiter, beiderseits mäßig steil abfallender Sattel, auf welchem ein dunkler, feinkörniger Harzburgit mit dünner gelber Rinde an vielen Stellen bloßliegt (2988). Das Haupttal des Kruma, welches sich in der Mitte der Südseite des Bitüčer Beckens öffnet, zeigt in seinem oberen Teil, bis gegen Betusi hin, gleichfalls die so bezeichnende landschaftliche Eigenart der Peridotitgebiete; auch das Tal, welches von der Čafa Prousit gegen das Krumatal hinabzieht und einen linken Ast desselben bildet, weist diese physischen Charakterzüge auf. Erwähnt sei hier, weil die Verteilung der Gesteinsaufschlüsse sehr beeinflussend, der große Unterschied im Pflanzenkleide der gegen N und S gekehrten Hänge, wie er im Krumatale und besonders in der Gegend von Lužs zu sehen ist. Die ersteren sind mit dichtem Mischwalde aus Laubhölzern bedeckt, die letzteren mit Grasfluren überzogen, denen nur Baumgruppen und vereinzelte Bäume eingestreut erscheinen. Dieser Unterschied ist nicht nur zwischen den zwei Talseiten sehr auffällig, er kommt auch — und dies ist insbesondere in der Gegend von Lužs sehr deutlich wahrzunehmen — in jedem einzelnen der in sie eingefurchten Gräben zur Entwicklung, soweit diese ostwestlich verlaufen oder doch eine diesem Streichen sich nähernde Richtung nehmen.

Die Gräben auf der Westseite des Erenik.

In diesem Abschnitte seien noch Beobachtungen mitgeteilt, die auf der Ostseite des wasserscheidenden Kammes, dem die Čafa Morins, Čafa Skols und Čafa Prousit angehören, gemacht wurden. Dieses Gebiet liegt schon außerhalb der jetzt gezogenen Grenzen von Albanien in dem derzeit als Neu-Montenegro angesprochenen Gebiete. In diesem Landesteile waren von mir besondere geologische Forschungen nicht geplant: es handelt sich im folgenden um Feststellungen, die anläßlich der Vortragung der geologischen Untersuchungen bis an die besagte Grenze hin über diese hinausgreifend erfolgten. Von der Čafa Morins senkt sich das Gelände gegen Osten sehr sanft ab, so daß ein Durchschnitt durch diesen Sattel mehr einer Stufe als einer Welle gleicht. Die schon erwähnte flache Talmulde im Osten der Čafa Morins begrenzt sich ostwärts mit einem kleinen Hügellande, das aus Harzburgit besteht, der teils mit rauhen Verwitterungsrinden, teils mit glatten, glasigen Serpentinkrusten überzogen ist. Dieses Hügelland wird vom Bache, der sich durch die vorgenannte Mulde schlängelt und neben eigenen Geschieben auch Reste alter polygener Schotter führt, in einem engen Einschnitte durchbrochen. Jenseits dieser kuppenreichen Region gelangt man in eine weite Talebene, die von dem westlichen der drei den Erenik zusammensetzenden Gewässer durchströmt wird. Man quert wiederholt breite Geschiebebetten, in denen neben Kalken und verschiedenen Gliedern der Schieferhornsteinformation auch dioritische Gesteine und Sandsteine, die durch Einstreuung größerer Quarzkiesel ein porphyroides Aussehen gewinnen, vorkommen. An den Uferböschungen und in dem mit Kulturen und Wiesen, streckenweise wohl auch mit Gestrüpp bedeckten Gelände zwischen den Wasserläufen sieht man Sande und Lehme aufgeschlossen.

Am Osthang der Čafa Skols ist der die Sattelhöhe bildende Olivinfels teils noch frisch, teils stark verändert und bis tief hinein zersetzt zu sehen. Häufig sind hier die als Metaxit und Xylotil bezeichneten grobfaserigen und stengligen Produkte der Serpentinisierung anzutreffen. Am waldreichen, steilen Südgehänge des tief eingeschnittenen Grabens, welcher von der Čafa Skols gegen NO streicht, ist ein ziemlich ausgedehntes Vorkommen von Diallagfels nachweisbar. Man überschreitet es auf dem an diesem Hange sich zur Sattelhöhe hinanziehenden Wege und berührt es auch, wenn man dem durch den Talgrund führenden und dann bei steilem Anstiege die Sattelhöhe rasch gewinnenden steinigen Pfade folgt. Bei einer an dem ersteren Wege liegenden schönen Quelle trifft man Diallag anstehend und in vielen Trümmern in fast ebenso großen Krystallen an wie am Hügel in Ost-Bitüči. Im Talgrunde, wo wenig Gestein zu sehen, ist das Auftreten des Diallag daran kenntlich,

daß an Stelle einer gelbbraunen Bodenfarbe eine dunkelrotbraune, ins Karmoisinrote spielende Färbung tritt.

Weiter talauswärts, jenseits eines Einschnittes, der aus dem tiefen Graben unterhalb der Čafa Skols in den ihm benachbarten und parallelen Graben von Gusk hinüberführt, trifft man an der südlichen Tallehne viel Serpentin in glatten Krusten und in bergholzartigen Überzügen an. Nahe dem Rinnsal dieses letzteren Grabens, da wo es bei Babaj Boks die Hügelregion verläßt und in das flachgewellte Vorland tritt, fanden sich in einer Gesteinsanhäufung Rollstücke eines Norits, der dem in Mittel-Bitüči gefundenen Gabbro ähnlich sieht (2980) und Stücke eines Diorites mit stark zersetztem (2981) und eines Diorites mit wenig verändertem Plagioklas (2979). Auch bei diesen feldspatführenden Gesteinen bot sich leider nicht Gelegenheit, der Ursprungsstätte nachzuspüren. Sie dürfte wohl im reich zertalten Nordhang der Maja Gjanit, welche den Graben von Gusk umschließt, zu finden sein. Allerdings liegt die Fundstelle schon am Ausgang des Grabens, wo eine Zufuhr von Norden her möglich scheint, und es fanden sich an der besagten Stelle wohl auch Gesteinsstücke, die aus einem weiter nördlich liegenden Gebiete stammen dürften. Die Ähnlichkeit mit dem in Mittel-Bitüči gemachten Noritfunde läßt es aber doch als weit näherliegend erscheinen, die bei Babaj Boks gesammelten Norite aus dem benachbarten Peridotitgebiet herzuleiten. Der von der Čafa Skols kommende Weg überschreitet dann eine Anhöhe, wo in tiefen Hohlwegen horizontal gelagerte, dunkle Tone mit Ockerbändern und dünnen Schotterlinsen bloßliegen und darüber sehr feine Schotter im Wechsel mit Sandlagen ausgebreitet sind. Trotz vielen Suchens fanden sich hier keine Fossilreste und ist so die Zugehörigkeit dieser Tone zu dem bei Djakova angetroffenen Pliozän fraglich. Im flachen Vorlande des Grabens von Gusk trifft man zunächst alte Schotter und weiterhin vorwiegend rote Lehme an.

Westlich von der Stadt Djakova erhebt sich eine Anhöhe, zu welcher vom rechten Ufer des die Stadt durchschleichenden Bächleins ein kleiner Graben hinaufführt. An den Hängen dieses Grabens sind jungtertiäre Tegel in großer Mächtigkeit entblößt. An der steilen nördlichen Grabenwand ist der Aufbau der flachliegenden Tegelmasse schön zu sehen, auch die Aufschlüsse in den Wasserrissen am Grabengrunde lassen sich stückweise zu einem Profil vereinen. Es zeigt sich hier nachstehende Schichtfolge in der Richtung von unten nach oben (Taf. II, Fig. XV):

Gelblichgrauer Sand.
Gelbgestriemter, blaßgelblicher Mergel mit Amentaceenblättern, Pflanzenfasern und Stengelresten.
Sandig-tonige Schicht.
Feiner, gelblicher Sand mit eingestreutem feinem Kies.
Ockerreiche Tegellage und darüber feiner, grauer Sand.
Dünne Kieslage aus kleinen dunklen Kalk- und Hornsteinchen.
Härtere ockerreiche Tonschicht.
Gelblicher Tegel und darüber gelblichgrauer Sand.
Mergelschichte, reich erfüllt mit Schalen von Kongerien. (C. ex. aff. Cong. Budmani Brus).
Hell- und dunkelgelb gestreifter Tegel.
Ockerreiche härtere sandig-tonige Schicht und wieder gelblicher Tegel.

Die an Kongerien reiche Schicht ist nur in den Anfängen der den Grabengrund durchfurchenden Einrisse, aber nicht im nördlichen Wandprofil (das man über Rasenbänder und Gesimse emporklimmend auch fast bis zu seiner Oberkante verfolgen kann) zu sehen. Dagegen zeigen sich hier in einer tieferen Tegellage, die wahrscheinlich dem Hangenden der pflanzenführenden Mergelschicht entspricht, Kongerien eingestreut. Auf der Anhöhe oben trifft man vorwiegend Verwitterungslehm des Tegels und nur spärliche Geschiebe an. Im untersten Abschnitte des Grabens sind die Mergelbänke großenteils mit Lehmdeluvium übergossen und verschmiert. Die dünnen Kieslinsen, welche neben Lagen von feinem Sand den Tegeln eingeschaltet sind, weisen in ihren Bestandteilen eine große Mannigfaltigkeit auf; Kalk- und Hornsteinchen, Quarz- und Jaspiskiesel sowie Schieferstückchen finden sich in buntem Durcheinander vor.

Gegen Süden fällt die vorgenannte Anhöhe steil zum breiten Geschiebebette des Erenik ab. Auch hier sind flachliegende, gelblichgraue Tegel sehr schön aufgeschlossen. An den steilen Böschungen des kleinen, durch das Weichbild von Djakova sich träge hindurchschlängelnden Bächleins sind gleichfalls mehrorts grau und ockergelb gebänderte, sandige Tegelschichten bloßgelegt, die stellenweise Kohlenkrümmeln und verkohlte Zweigbruchstückchen führen. Über diese Tegel breiten sich sehr polygene alte Schotter, welche im Stadtbilde von Djakova eine große Rolle spielen. Mit solchen Schottern sind die Bazarstraße, viele Nebengassen und zum Teil auch die Höfe der Häuser gepflastert. Besondere Bedeutung gewinnt das Aufruhen alter Schotter auf Tegelschichten im Weichbilde von Djakova dadurch, daß es zum Austritt von Quellen Anlaß gibt, die an verschiedenen Stellen der Stadt in Brunnen gefaßt sind. Bemerkenswert ist bei der relativ geringen Mächtigkeit der Schotterdecke die nicht unerhebliche Stärke mehrerer dieser Quellen.

Im Süden von Djakova gelangt man nach Durchquerung der von kleinen Flußläufen durchzogenen umliegenden Ebene in ein zertaltes Hügelland, wo mehrorts Lehme als Verwitterungsprodukte von Mergeln unter Schotter und humoser Erde sichtbar sind. Besonders schöne Aufschlüsse birgt das Bett eines Flüßchens, das der Weg zur Čafa Prousit auf einer Brücke überquert. An der südlichen Uferböschung folgen hier übereinander (Taf. II, Fig. XVI):

Gelblich und grau gebänderter Tegel und Sand mit Kies- und Schotterlinsen.

Blättrig-kohlige Schicht, einige Dezimeter mächtig.

Gelber Tegel mit hellgrauer Zwischenlage.

Grober Flußschotter, hier nur etwa in 1 *m* dicker Schichte aufgelagert und von Humus überdeckt.

Am gegenüberliegenden Ufer ist gleichfalls eine etwa 2 *dm* dicke blättrig-kohlige Schicht dem Tegel eingeschaltet. Am weiteren, durch Hohlwege und zwischen Wasserrissen ansteigenden Pfade sieht man noch mehrere Lehmaufschlüsse, dann sehr viel Schotter am Wege. Die Geschiebe sind hier in den tieferen Lagen unvollkommen, in den höheren deutlich abgerundet und reichen bis in die Nähe des Gebirgssattels hinauf, dessen Höhe die Karte mit 729 *m* angibt. Erst eine kurze Strecke unterhalb der Sattelhöhe tauchen unter den Schottern Felsen von Peridotit hervor. Die Überlagerung von Kongerientegeln mit Kohlenspuren durch Schottermassen erinnert an die Verhältnisse im Cetinagebiete. In der Umgebung des Skodrasees findet, wie Vetters mitteilt, gleichfalls eine Auflagerung von Konglomeraten auf das in Mergelfazies entwickelte Jungtertiär statt, dort handelt es sich bei diesem aber um marines Pliozän.

Tektonische Übersicht.

Die tektonischen Probleme, welche das Valbonatal darbietet, sind die Lagebeziehungen der Schieferhornsteinformation zu den im Südosten benachbarten Peridotiten und zu den nordwestwärts angrenzenden mesozoischen Kalkmassen. Die Fallrichtung der Schichten der Schieferhornsteinformation in der Nähe der über das rechte Ufer des Valbona übergreifenden Olivinfelsmassen ist eine wechselnde. Im Endstücke der Schlucht von Gegušenj herrscht östliches, im Graben von Grigaj südöstliches Fallen vor. Im unteren Abschnitte der Schlucht von Demušaj verflächen die Tonschiefer gegen O und ONO, in den Gräben bei Bunjai sowie im äußeren Teil der Schlucht von Marghegaj gegen NNO und N. Diese Fallrichtungen weisen bei dem SSW — NNO- und SSO — NNW-Streichen der Westgrenze der Olivinfelshügel auf ein Untertauchen der Schiefer unter diese letzteren hin. Auch das vorwiegend östliche Verflächen der Schiefer im mittleren Teil der Tropojaschlucht steht der Annahme einer solchen Lagebeziehung nicht entgegen.

Im unteren Teil dieser Schlucht sowie im Graben von Hasaj fallen die Schiefer aber mehrorts nach NW, während der Rand des Intrusivgebietes im südlichen Vorlande des Skülsen ein SW bis NO-Streichen zeigt. Dieser mit der Annahme eines Untertauchens der besagten Schiefer unter die Massen-

gesteine nicht zu vereinigende Befund kann aber — wie ein stellenweises NW-Fallen westlich von Bunjai — wohl auf örtlichen tektonischen Abweichungen beruhen und ist keinesfalls imstande den Eindruck, daß die Schieferhornsteinformation ein unter die Peridotitmasse tauchendes geologisches Niveau darstellt, zu gefährden. Die gegen NW fallenden Schichten in der Gegend von Hasaj sind von der Olivinfelsgrenze wohl auch schon so weit entfernt, daß man an ein flaches Umbiegen derselben im nicht aufgeschlossenen Zwischenraume denken könnte. Tonschiefer, Jaspisschiefer und Hornsteinschiefer sind von Nopcsa als die Faziesentwicklung der Unter- und Mitteltrias im Gebiete der Merdita und als jene der Mitteltrias im Gebiete des Cukali erkannt worden. Dem Serpentin, Gabbro und Diorit der Merdita schreibt der genannte Forscher ein jurassisches Alter zu. Das Intrusivgebiet im Osten des Valbonatales erscheint als die jenseits des Drin gelegene Fortsetzung desjenigen der Merdita und ist so als eine jenem ungefähr gleichaltrige Bildung anzusehen. Es ist dann auch die Schieferhornsteinformation im Westen des Valbonatales, deren direkte Altersbestimmung in Ermanglung von Fossilfunden noch aussteht, als ein zeitliches Äquivalent der analogen Formationen des Cukali und der Merdita zu betrachten.

Was die tektonische Deutung des aus den Fallrichtungen der Schieferformation erschlossenen Untertauchens derselben unter den Peridotit betrifft, so ist es naheliegend, daß es sich in einem von Bewegungen sehr stark betroffenen Gebiete wohl nicht um ein in seiner ursprünglichen Form erhaltenes randliches Aufruhen einer Intrusivmasse auf ihrer Unterlage handeln kann. Tonschiefer und Olivinfels stellen wohl zwei in bezug auf ihren Starrheitsgrad sehr voneinander abweichende Gesteine dar, die sich gegenüber seitlichem Drucke auch sehr ungleich verhielten. Es wird sich so bei der tektonischen Deutung der Grenzfläche zwischen Triasschiefer und Peridotit die Fragestellung weniger nach dem Bestande oder Nichtbestande einer Überschiebung als vielmehr nach dem Grade einer solchen richten. Ein Größenmaß für die da anzunehmenden Bewegungen gibt nach Nopcsa hier die Stärke der Entwicklung der Gjanischiefer, der von ihm als Reibungs- und als Quetschgestein erkannten schwarzen, knolligen Schiefer des Drinlandes. Die Grenze zwischen dem Serpentin der Merdita und dem Südostrande des Cukali, die einer sehr auffälligen Überschiebungslinie entspricht, ist durch sehr reichliches Erscheinen von Gjanischiefer ausgezeichnet. Dagegen treten an der Grenze der Triasaufbrüche der Merdita gegen den sie umwallenden Serpentin nur an wenigen Stellen schmale Züge von Gjanischiefer auf. Man kann dies dahin deuten, daß in diesem letzteren Gebiete Horizontalbewegungen eine geringere Rolle gespielt haben.

Im Bereiche des Valbonatales konnte ich nun nur an dessen Ausgang eine Unterteufung von Olivinfels durch Gjanischiefer sehen. Sie bilden dort — wie früher erwähnt — die auf das rechte Ufer des Drin übergreifende Fortsetzung eines von Nopcsa entdeckten Vorkommens solcher Schiefer. Weiter aufwärts im Valbonatale tritt an der Westgrenze des Intrusivgebietes nirgends Gjanischiefer auf. Allerdings ist diese Grenze großenteils nicht direkt bloßgelegt; die sie verhüllenden Deckschichten sind aber streckenweise doch nur so geringfügig, daß selbst eine auch nur wenig mächtige Grenzbildung zwischen dem Tonschiefer und dem Peridotit sich kaum einem Nachweise entzöge. Man wird so auch bezüglich des Gebietes nördlich vom Drin den Schluß ziehen, daß hier Horizontalverschiebungen zwischen der Trias und ihrer Decke nicht in großem Ausmaße erfolgten. Der geologische Aufbau des triadischen Untergrundes der Peridotit- und Pyroxenitmassen im Osten des Valbona entzieht sich wie die Lage der Gegend, wo diese Massen in die Tiefe setzen, gänzlich der Erkenntnis. Vermutlich sind die Triasschichten nördlich vom Drin weniger gefaltet als die südwärts dieses Flusses, weil — während in der Merdita große Triasaufbrüche vorhanden sind — im Osten des Valbona die Denudation noch nirgends bis zur Bloßlegung von Schiefern geführt hat.

Die Klarstellung der Lagebeziehungen der Schieferhornsteinformation zu den ihr west- und nordwärts benachbarten Kalken ist aufs engste mit einer Beantwortung der Frage nach der geologischen Position der zwischen den Schieferhornsteinen und Kalken liegenden Tonschieferzone verknüpft. Es wurde schon in der geologischen Gebietsbeschreibung mitgeteilt, daß man sich auf der Korja der

höchst befremdlichen Erscheinung gegenübersieht, daß die dort herrschenden Tonschiefer zu dem mitvorkommenden Kalke teils im Verhältnisse der Erosionsdiskordanz, teils in dem der Wechsellagerung stehen. An den mittleren Südhängen des Berges sieht man die braunen Schiefer in Vertiefungen eines alten Reliefs des grauen, weißgeäderten Kalksteines hineingepreßt, welcher einige Rudistenreste führt, und sieht, wie diese Schiefer stark gefältelt und zerknittert, auch Blöcke des Kalkes umwallen. Unterhalb der grasigen Geländestufe, über welche sich der Gipfelbau der Korja erhebt, kann man aber mit einer jeden Zweifel ausschließenden Klarheit die genannten beiden Gesteine in Wechsellagerung begriffen sehen. Dort kann man allerdings noch kleine lithologische Unterschiede zwischen den zufolge ihrer Lagerungsweise als kretazisch und den als eozän zu deutenden Tonschiefern herausfinden. Die an der schluchtartigen Mündung des Grabens östlich von der Čafa Kolčit dem Kalke zwischengelagerten Schiefer stimmen aber mit den ihm diskordant aufruhenden ganz überein. Der Wert des auf der Korja erkennbaren, ohnedies nur schwachen lithologischen Unterschiedes zwischen den sich zum begleitenden Kalke so ganz gegensätzlich verhaltenden Schiefern wird aber auch dadurch herabgedrückt, daß an dem in das unterste Valbonatal gegen W weit vortretenden Felssporne, wo Tonschiefer ganz von der Art derjenigen anstehen, welche auf der Korja mit dem Kalke wechseln, der Kalkstein nicht in eingeschalteten Bänken, sondern in ganz unregelmäßigen Linsen innerhalb der stark gefalteten Schiefermasse erscheint.

Zum Zwecke der Zusammenreimung der zwei miteinander scheinbar unvereinbaren Befunde bleibt da wohl nur der Ausweg, anzunehmen, daß man es mit lithologisch ganz übereinstimmenden Schichten von verschiedenem Alter zu tun hat, wobei es nebensächlich bleibt, ob diese Schichten schon als ganz gleichartige Schlammassen abgelagert wurden und ihre Umbildung zu Schiefern in ganz gleicher Weise erfolgte oder ob sie ihre völlige lithologische Übereinstimmung erst im Laufe der Zeit gewannen. Man wird diese Annahme um so mehr machen dürfen, als es sich ja um Gesteine von flyschartigem Aussehen handelt und man ja auch anderwärts von Kreideflysch und Eozänflysch spricht, eine Ausdrucksweise, die ja — unbeschadet einer gewissen Mannigfaltigkeit der Flyschgesteine — besagen will, daß in den genannten zwei aufeinanderfolgenden geologischen Perioden zwei gleichartige Faziesentwicklungen eintraten. Bekanntlich sind auch die Kalkfazies der oberen Kreide und des älteren Tertiärs im Mittelmeergebiete einander manchmal zum Verwechseln ähnlich und das von Phillippson aus Griechenland erwähnte seltsame Zusammenvorkommen von Rudisten und Nummuliten zeigt, daß es da nicht bloß zu isopischer Fortentwicklung, sondern auch zu einer durch Faunenmischung bedingten Einheitlichkeit kommen kann.

Man wird demnach die braunen fossilleeren Schiefer auf der Westseite des Valbonatales überall dort, wo sie dem grauen Kalke diskordant aufruhen oder Felsen desselben umwallen, als Eozänflysch deuten können. Es fällt dann die Hauptmasse der braun anwitternden Tonschiefer, die sich in einem breiten Zuge von der Čafa Kolčit über die oberen Westhänge des mittleren Valbonatales zur Mündungsregion der Schlucht von Dragobjs und nach vorübergehender Einschnürung von dem Endstücke der Begajschlucht längs der Südhänge der Skülsen bis in das Tropojatal hinein verfolgen lassen, der Eozänformation zu. Man sieht in dieser sich landschaftlich gut heraushebenden Zone, die zugleich ungefähr dem Gürtel des Rotbuchenwaldes entspricht, mehrorts große Schichtklötze von grauem, weißgeädertem Kalke eingebettet. Besonders wird man — wie erwähnt — in einem der Gräben ober Bunjai an die Verhältnisse am Südhange der Korja erinnert. Durch ihre Größe auffällige linsenförmige Kalkmassen innerhalb der Zone der braunen Schiefer werden in den oberen Teilen der Felsschluchten von Demušaj und Marghegaj getroffen. Schon das Nord—Süd-Streichen dieser Zone läßt übrigens den Braunschiefer als eine mit den Kalken nicht in stratigraphischem Verbande stehende Gesteinsbildung erkennen. Denn, da die Kalke im Gebirge westlich vom Valbona vorwiegend W—O streichen, müßten ja Schiefereinlagen derselben als zum mittleren Valbonatale quer verlaufende Schichtbänder erscheinen, wie man solche auf der Ostflanke der Korja sieht.

Die zur Rechten des Valbona hinstreichenden braunen Schiefer sind dann als ein Schichtglied der großen nordalbanischen Tafel Nopcsa's aufzufassen und man hat dann in der Grenzzone dieser Schiefer gegen die Schieferhornsteinformation ein Stück der Überschiebung der Merdita auf jene Schichttafel vor sich. Für die Deutung dieser Grenze als Überschiebungslinie spricht das häufige Vorkommen sehr stark gefältelter und zerknitterter Kalkschiefer, wie es in der geologischen Gebietsbeschreibung aufgezeigt worden ist. Es wurde dort des Auftretens von ganz ungewöhnlich hochgradig gequälten, glimmerreichen, quarzführenden Kalksteinen bei stark gestörter Lagerungsform in den Abschnitten über die geologischen Verhältnisse der Demušaj- und Makajschlucht gedacht. Auch einer der Gräben von Bunjai und die Begajschlucht sind dort als Gebirgswinkel genannt, in denen an der Grenze der Braunschiefer gegen die Schieferhornsteinformation sehr heftig durchbewegte Schieferkalke vorkommen. Die braun anwitternden Tonschiefer selbst sind im allgemeinen weniger gefältelt, bei ihnen kommt die Lagestörung mehr in einem öfteren Wechsel der Fallrichtung und -winkel zum Ausdruck. Bemerkt sei noch, daß es sich im Westen des Valbona um eine jener steilen Überschiebungen handelt, die sprachlich passender als Aufschiebungen oder Anschiebungen bezeichnet wären. Es findet so nun die von Nopcsa ganz am Schlusse der jüngsten zusammenfassenden Darstellung seiner reichen Forschungsresultate ausgesprochene Vermutung eine Stütze, daß der Flyschzug von Raja mit jenem von Gusinje zu verbinden sei. (Begleitworte zur geologischen Karte von Nordalbanien, Rascien und Ost-Montenegro. Földtani Közlöny, XLVI, 1916, p. 305.) Die Strecke von der Korja bis zum Ostende des Skülsen, bis wohin der besagte Zug verfolgt werden konnte, entspricht ungefähr der Hälfte der Gesamtstrecke, über welche hin jene Verbindung herzustellen wäre.

Die sich an den Zug der als Eozänflysch aufgefaßten Tonschiefer anschließenden Kalke ließen, wo sie erreicht wurden, fast überall Steilstellung erkennen. In der Gipfelregion der Korja herrscht 45 bis 60° steiles südsüdöstliches Einfallen vor, desgleichen auf der Čafa Kolčit. Auf der Ostflanke der Korja wurde steiles nördliches (NNO und NNW) Verflächen angetroffen. Bei der Besteigung des Felsgrates nördlich von der Čafa Kolčit konnte ich vorwiegend steiles südsüdöstliches Schichtfallen messen, das streckenweise bis zu Seigerstellung und Überkippung nach NNW gedeiht. Im Tale von Dragobjs sind die Kalke steil gegen N und NNW geneigt, zum Teil seiger stehend. Nur in der Tropojaschlucht am Ostrande der Kalkmasse des Skülsen kam nur ein mäßiges bis mittelsteiles Verflächen gegen S und SW zur Beobachtung.

Diese Lagerungsverhältnisse entsprechen jenen, welche man im Hinblick auf das von Nopcsa weiter im Westen festgestellte regionale 25 bis 30° NW-Fallen wohl voraussetzen muß, wenn eine Überschiebung der Merditatrias auf die nordalbanische Tafel vorliegt. Ein Erscheinen des jüngsten Schichtgliedes dieser Gebirgstafel an ihrem Ostrande ist bei einer mäßigen Neigung dieser Tafelscholle gegen NW nur dann möglich, wenn nahe jenem Rande eine Umknickung Platz greift. Einer solchen können nun die auf der Korja und auf dem Grate nördlich vom Kolčitsattel herrschenden Lagerungsverhältnisse gut entsprechen. Die bloße Annahme einer bis zur Umstülpung gediehenen Aufsteilung des östlichen Tafelrandes ließe sich zwar mit steilem südsüdöstlichem Einfallen an diesem Rande, aber nicht mit dem Erscheinen von eozänem Flysch zusammenreimen. Bei dem vorher genannten Phänomene dünkt dann auch wieder eine relative randliche Überschiebung der Haupttafel auf ihr abgebrochenes Randstück, beziehungsweise eine Unterschiebung dieses letzteren unter erstere als ein leicht möglicher Vorgang. Es kann zunächst Schichtenüberkippungen nach N und NNW verständlich machen und auch Abscherungen innerhalb des steil emporgerichteten Tafelrandstückes erklären. Als eine Erscheinung dieser letzteren Art wäre dann die auf der Korja zu sehende Störung — die Überschiebung steil gegen SSO geneigten obertriadischen Megalodontenkalkes auf steil nach OSO einfallenden Rudistenkalk bei Einquetschung von Eozänflysch in die Schubfläche — zu deuten. Auch das sehr steile S- und SSO-Fallen der oberen Triaskalke auf dem Grate nördlich von der Čafa Kolčit über wechselnd steil nach N bis NNO verflächenden eozänen Tonschiefer fände durch einen Vorgang der vorgedachten Art seine Erklärung.

Die Annahme der Unterschiebung eines von der Merditatrias von SO her überschobenen umgekippten östlichen Randstückes der nordalbanischen Tafel unter diese hinein erscheint insofern naheliegend, als in dem unmittelbar südlich anstoßenden Gebiete das Faltenland des Cukali unter die nordalbanische Tafel untertaucht. Diese letztere Störung reicht nach Nopcsa bis an das Drinknie bei Raja. Bei der Auffassung der besagten Tafel als einer großen einheitlichen stärren Schollenmasse wäre es ganz unwahrscheinlich, daß sie sich nicht längs ihres ganzen Randes gleichartig verhalten hätte und ihre Überschiebung auf die nächste südöstliche Nachbarschaft an ihrem Südostrande auf halbem Wege haltgemacht hätte. Über die Art und Weise, wie sich die angenommene Umknickung der Schichttafel vollzieht, ob sie schon vorher eine Aufrichtung erfährt oder bis in die Nähe ihres östlichen Randes in mäßiger Neigung gegen NW verharrt, ließ sich nichts ermitteln, da der eingangs erwähnte militärische Schutz nicht auch für einen Besuch der Hochgebirgsregion der Stüla Gris und Maja Hekurave vorgesehen war, innerhalb deren jene Frage zu beantworten wäre. Das in der Gegend von Dragobjs vorgefundene sehr steile NNW-Fallen könnte man im Sinne der ersteren Möglichkeit deuten.

Tafel I.

Geologische Profile aus dem unteren und oberen Valbonatale.

Tafel I.

Fig. I. Profil durch die linksseitige Uferböschung des Valbona vor seiner Mündung in den Drin: 1. Grünschiefer, 2. Knollenschiefer mit einem Einschluße von Sandstein, 3. Olivinfels.

» II. Profil durch den Südabhang der Korja Merturit: 1. Tonschiefer, 2. massiger Kalk, 3. härterer Tonschiefer, 4. Rudistenkalk mit Zwischenlagen von Tonschiefer.

» III. Profil durch den Südabhang der Gipfelregion der Korja Merturit: 1. Rudistenkalk, 2. Tonschiefer, 3. Megalodontenkalk.

» IV. Profil durch den Südabfall des Grates nördlich von der Čafa Kolčit: 1. Tonschiefer, 2. Flaserkalk, 3. dichter Kalk mit Hornsteinputzen, 4. rhomboedrisch zerklüftender Kalk, 5. Plattenkalk, 6. massiger Kalk.

» V. Profil durch die Čafa Kolčit: 1. Tonschiefer, 2. Sandsteinschiefer, 3. oolithischer Kalk.

» VI. Profil entlang dem Ostfuße der Korja Merturit: 1. Olivinfels, 2. Tonschiefer, 3. ungeschichteter Kalk, 4. lichter, bankiger Kalk, dunkelgrauer Kalk mit Zwischenlagen von Tonschiefer.

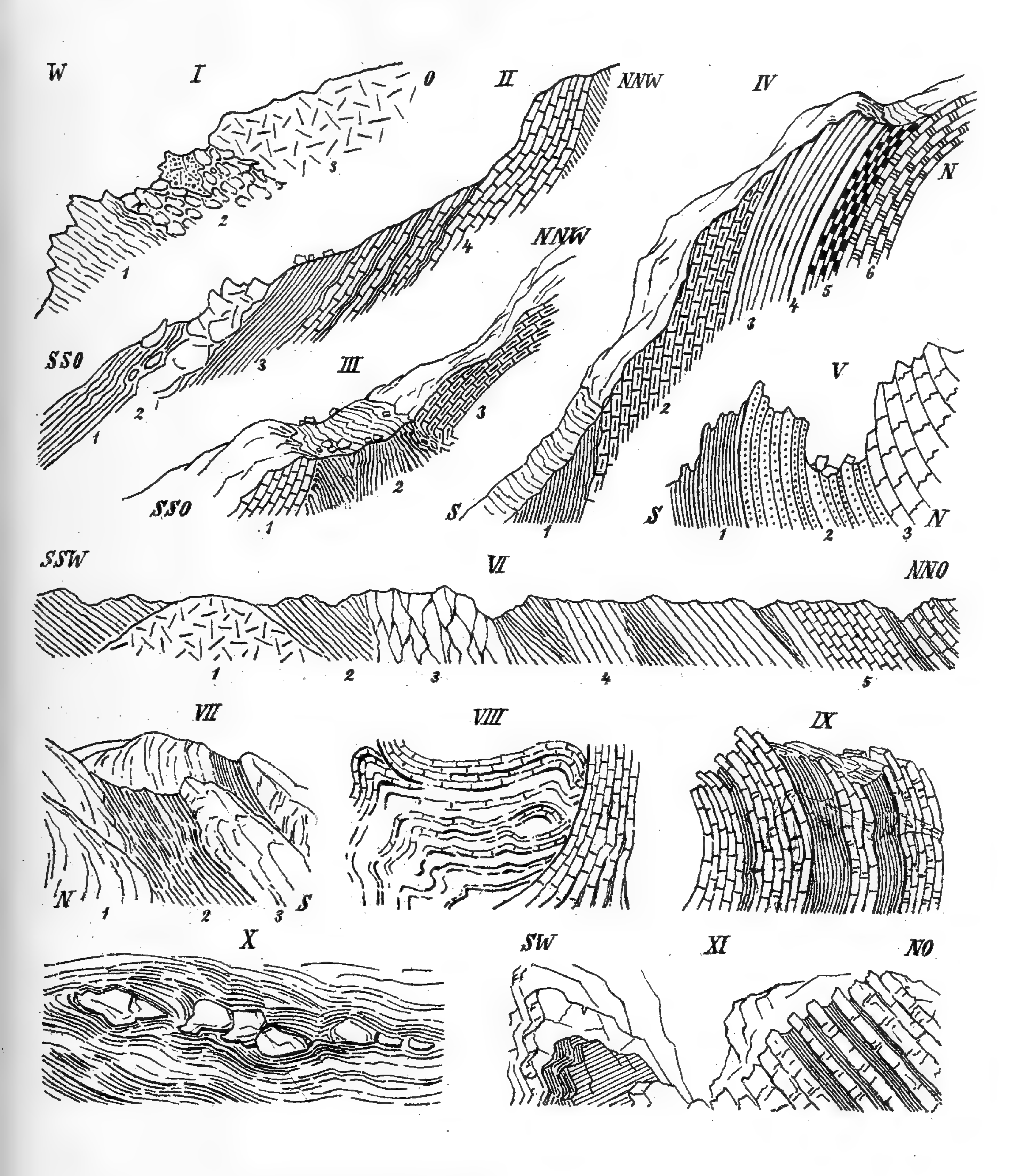
» VII. Plattenkalkentwicklung am Grate nördlich von der Čafa Kolčit: 1. Massiger Kalk, 2. Plattenkalk, 3. bankiger Kalk.

» VIII. Stark gefaltete und verdrückte Kalkschichten an der Nordseite des oberen Valbonatales bei Dragobjs.

» IX. Steil gestellter Kalk im Wechsel mit Schieferton an der Südseite des oberen Valbonatales taleinwärts von Dragobjs.

» X. Umwallung von Linsen grauen Kalkes durch Tonschiefer am linksseitigen Ufersporne des Valbona gegenüber von Raja.

» XI. Wechsellagerung von grauem Kalk und Tonschiefer an der schluchtartigen Mündung des Grabens östlich von der Čafa Kolčit.


W
I
O
II
NNW
IV
N
SSO
NNW
III
V
SSO
S
S
N
SSW
VI
NNO
VII
VIII
IX
N
S
X
SW
XI
NO

Tafel II.

Geologische Profile aus dem mittleren Valbonatale und aus der Gegend von Djakova.

Tafel II.

Fig. I. Profil durch den untersten Teil der Schlucht von Gegušenj: 1. Tonschiefer, 2. Jaspisschiefer, 3. Olivinfels.

» II. Profil durch den unteren Teil der Schlucht von Demušaj: 1. Kalkschiefer, 2. Bändermarmor, 3. Tonschiefer, 4. bankiger Kalk.

» III. Profil durch den nördlichen der drei Gräben von Bunjai: 1. Schieferton, 2. schwarzer Tonschiefer, 3. glimmerreicher Schiefer, 4. engklüftiger, grüner Schiefer.

» IV. Profil längs der Nordseite der Schlucht von Demušaj: 1. Grauer Kalk, 2. gefältelter Kalkschiefer, 3. Tonschiefer.

» V. Stark zerknitterter Kalkschiefer im Nordaste der Schlucht von Demušaj.

» VI. Profil durch den Nordhang des äußeren Teiles der Schlucht von Begaj: 1. Glimmerreicher Schiefer, 2. dunkler Tonschiefer, 3. Grünschiefer, 4. Serpentin.

» VII. Profil durch den Osthang des innersten Teiles der Schlucht von Tropoja: 1. Plattiger Kalk, 2. bankiger Kalk, 3. Grünschiefer.

» VIII. Profil längs der Nordseite des inneren Teiles der Schlucht von Makaj: 1. Massiger Kalk, 2. Tonschiefer, 3. Sandstein, 4. Schieferkalk.

» IX. Profil durch die Ostseite des Grabens ober Tropoja: 1. Eluvium, 2. Serpentinbreccie, 3. Tonschiefer, 4. Sandstein.

» X. Sich kreuzende schmale Gänge von Pyroxenit im Peridotit am Nordabhang der Suka Pjanit.

» XI. Breiterer Gang von Pyroxenit im Peridotit am Nordabhang der Suka Pjanit.

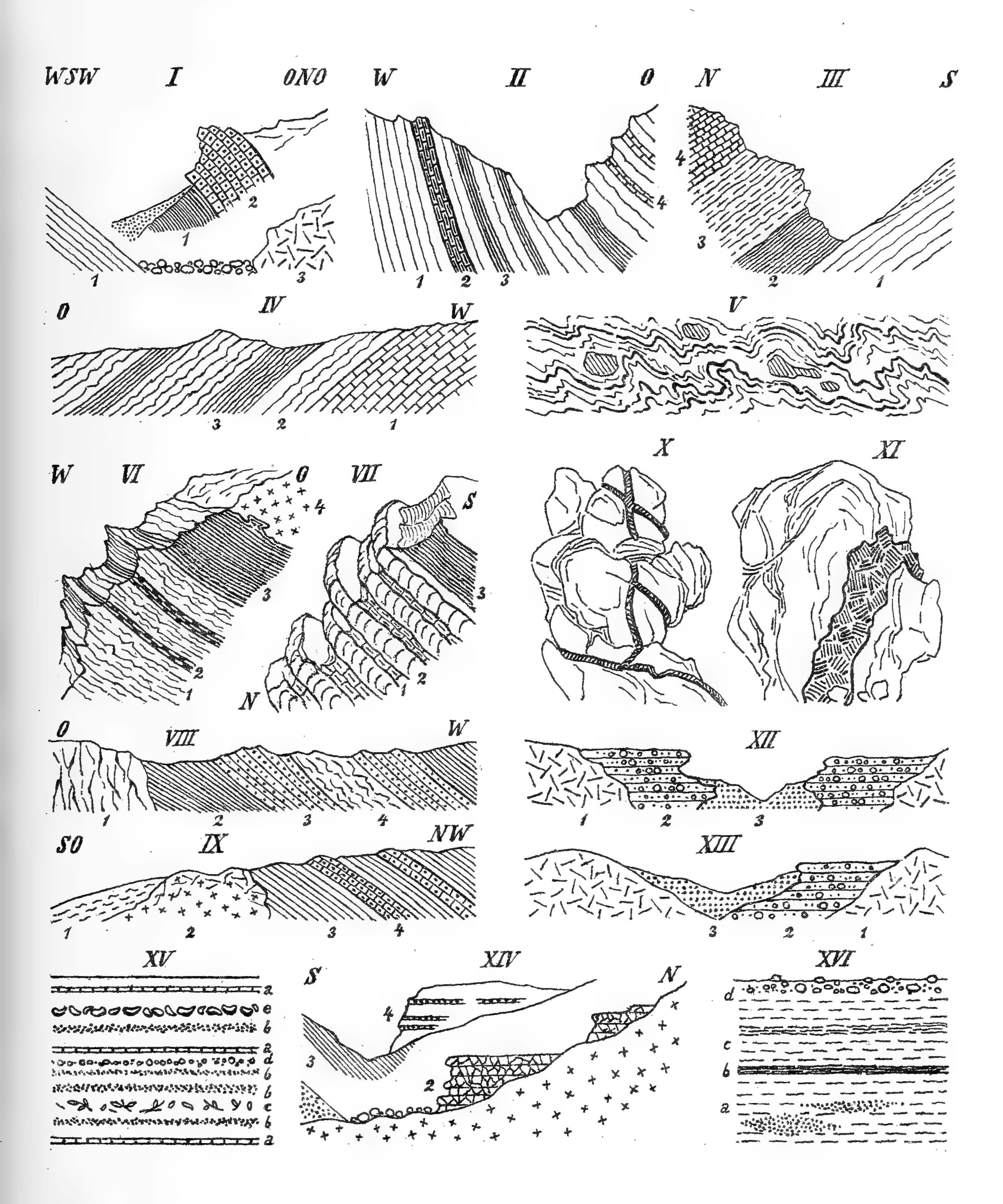
» XII. Profil durch den äußersten Teil des nördlichen Grabens von Bunjai: 1. Olivinfels, 2. alter Flußschotter, 3. subrezenter Bachschotter.

» XIII. Profil durch die Talweitung vor dem äußeren Teil der Schlucht von Demušaj: 1. Olivinfels, 2. alter Flußschotter, 3. subrezenter Bachschotter.

» XIV. Profil durch den Nordhang des äußeren Teiles der Schlucht von Marghegaj: 1. Serpentin, 2. Trümmerbreccie, 3. Tonschiefer, 4. Lehm mit Schotterlagen.

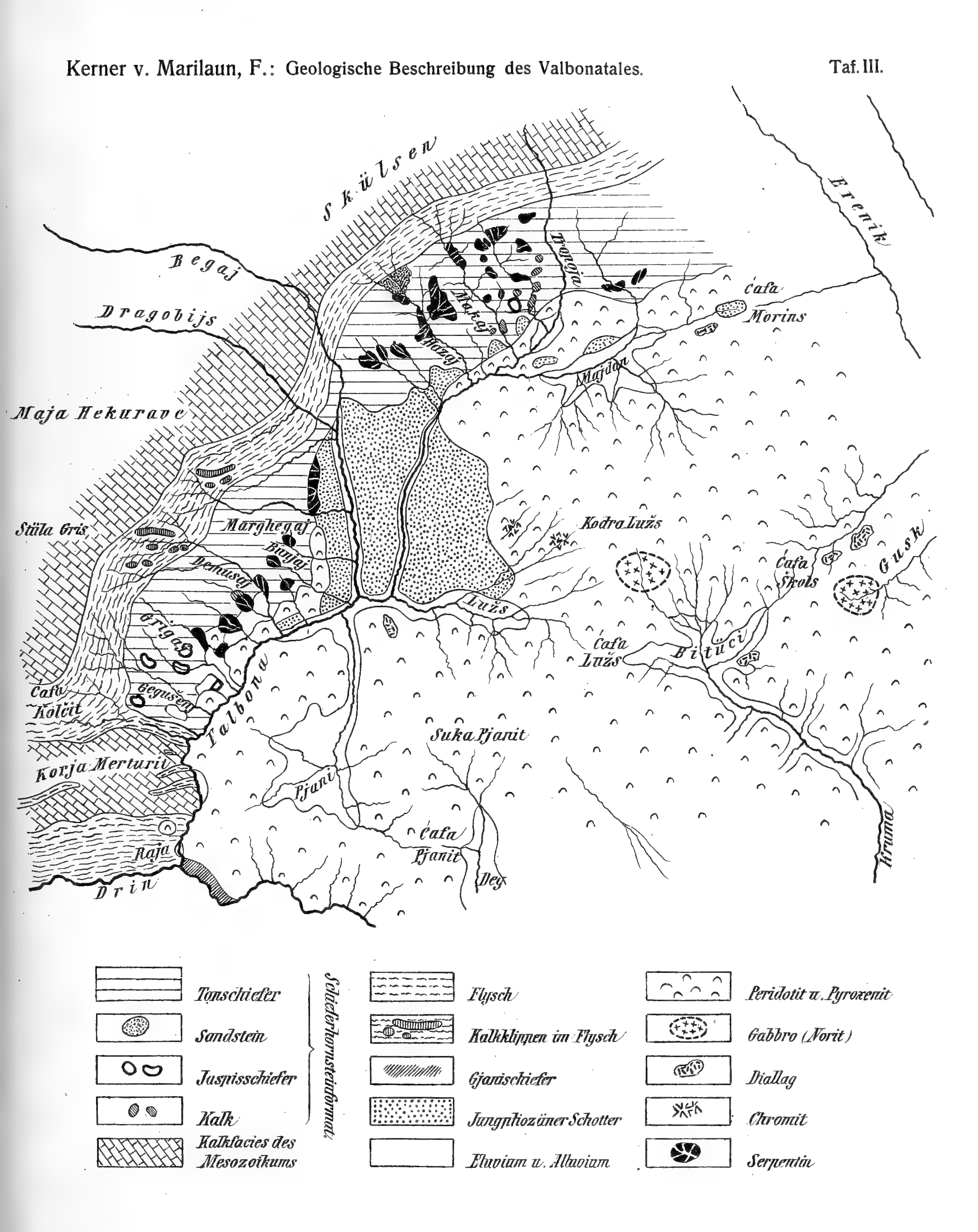
» XV. Detailprofil durch den Graben westlich von Djakova: *a)* Härtere, ockerreiche, sandige Tegelschicht, *b)* Sand, *c)* Mergelschicht mit Pflanzenblättern, *d)* Kieslage, *e)* Mergelschicht mit Kongerienschalen.

» XVI. Detailprofil durch die südliche Uferböschung des Flüßchens am Nordfuße der Čafa Prousit: *a)* Tegel mit Schotterlinsen, *b)* kohlige Schichte, *c)* gelblicher Tegel mit grauer Zwischenlage, *d)* grober Flußschotter.


WSW
I
ONO
W
II
O
N
III
S
O
IV
W
V
W
VI
O
VII
S
N
X
XI
O
VIII
W
XII
SO
IX
NW
XIII
XV
S
XIV
N
XVI

Tafel III.

Geologisches Übersichtskärtchen des Valbonatales.



Autor del.

Lith. Anst. Th. Bannwarth, Wien.

ZUR ENTWICKLUNGSGESCHICHTE DES FRUCHTKNOTENS DER BIRKE

VON

DR. MARGARETE STREICHER

(MIT 3 TAFELN)

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 12. JULI 1917

Vorliegende Arbeit ist eine Nachuntersuchung der Entwicklung der weiblichen Blüte von *Betula* (speziell *Betula pendula*) im engsten Anschluß an Nawaschin's Arbeit »Über die gemeine Birke und die morphologische Deutung des Chalazogamie«. Eine solche erschien um so wünschenswerter, als diese und die anderen in Betracht kommenden Arbeiten in ihren Ergebnissen so stark voneinander abweichen, daß über die Ontogenie der weiblichen Blüte noch keineswegs völlige Klarheit herrscht. Die Abweichungen betreffen teils die Darstellung selbst, teils zeigen sie sich in der Deutung der beobachteten Tatsachen, die je nach dem Standpunkte, den der Autor einnimmt, verschieden ausfällt.

Die Literatur über die Blütenentwicklung von *Betula* ist nicht sehr umfangreich. Die ausführlichste und wichtigste Arbeit ist zweifellos die schon erwähnte von Nawaschin. Das Endergebnis läßt sich am besten mit seinen eigenen Worten[1] wiedergeben: »Im ersten Stadium ist der Fruchtknoten noch unentwickelt, die Blütenachse hat zwei erste Blätter, die Carpellblätter, getrieben; ihr Scheitel bietet eine noch einfache, axile Placenta dar. Zur Zeit der Bestäubung (zweites Stadium) haben die beiden Carpelle ihre vollkommene Ausbildung erreicht; sie bilden jetzt zwei Narben und einen kurzen Griffelkanal. Die Blütenachse entwickelt sich weiter, sie ist zur Bildung eines folgenden Paares von Blättern geschritten, welche die Anlagen der Samenknospen darstellen. In diesem Stadium erscheint die axile Placenta gelappt. Zur Zeit der Befruchtung (drittes Stadium) sind die Carpelle längst vertrocknet, die Blütenachse ist ausgewachsen und bildet den fertigen, zwar auch jetzt nicht geschlossenen Fruchtknoten. Der Scheitel der Blütenachse trägt zwei Samenknospen, die erst jetzt ihre vollkommene Ausbildung erreicht haben.« Näher will ich hier auf Nawaschin's Arbeit nicht eingehen, da sich im Laufe meiner eigenen Darstellung genug Gelegenheit bieten wird, einzelne Punkte ausführlich zu besprechen.

Eine kurze Darstellung der Entwicklung des Fruchtknotens von *Betula* — die erste, die wir besitzen (1854) — findet sich in Schacht's »Entwicklungsgeschichte der Cupuliferen- und

[1] Nawaschin, Über die gemeine Birke und die morphologische Deutung der Chalazogamie. Mémoires de l'Académie Impériale de Sciences de St. Petersbourg, VII. Série, Tome XLII, Nr. 12 (1894), p. 12.

Betulineenblüte«.[1] Das Ergebnis seiner Untersuchung läßt sich kurz dahin zusammenfassen, daß der Fruchtknoten der Birke aus zwei Blättern besteht, die an ihren verwachsenen, das heißt nicht getrennten Rändern je einen Samenträger erzeugen. Einer davon ist unfruchtbar, der andere entwickelt zwei Samenanlagen. Aus dem Grunde der Fruchtknotenhöhle erhebt sich der Stammteil der Blüte als sogenanntes »Mittelsäulchen«, das sich mit den beiden Samenträgern verbindet, wodurch der Fruchtknoten im unteren Teile zweifächerig erscheint.

Wolpert schließt sich in seiner[2] »Vergleichenden Anatomie und Entwicklungsgeschichte von *Alnus, Alnobetula* und *Betula*« der Auffassung Schacht's im wesentlichen an. Er hält jedoch beide Samenträger für fertil, so daß ursprünglich vier Samenknospen angelegt werden; aber zwei abortieren im Laufe der (phylogenetischen, wie aus einer anderen Stelle hervorgeht) Entwicklung. Die Zweifächerigkeit des Fruchtknotens im unteren Teil erklärt er durch Verwachsen der beiden Placenten zu einer Scheidewand. — Man sieht sofort, daß diese Auffassung Wolpert zu einer Polemik gegen Nawaschin führen mußte; wir werden noch sehen, wie weit er damit Recht hat. — Erwähnt sei hier noch ein Angriff gegen Nawaschin. Celakovsky kommt in seinem »Epilog zu meiner Schrift: ‚Über die Placenten der Angiospermen‘« auch auf Nawaschin's »eigentümliche Deutung des Fruchtknotens der Birke« zu sprechen und sagt[3], daß er »bei aller Achtung vor seinen tatsächlichen Beobachtungen Nawaschin's theoretischen, morphologischen wie phylogenetischen Vorstellungen« nicht zustimmen kann. Seine »unhaltbare Deutung« erklärt Celakovsky durch das Streben, die Plazenten um jeden Preis als Achsengebilde darzustellen. Dagegen könnte man aber mit gleichem Rechte Celakovsky selbst vorwerfen, er suche die Placenten um jeden Preis als Teile der Fruchtblätter darzustellen. Celakovsky bringt keine tatsächlichen Berichtigungen, sondern erklärt auf Grund seiner theoretischen Vorstellungen über Fruchtknoten- und Placentenbildung Nawaschin's Deutung für unhaltbar. Ein näheres Eingehen auf seine Einwände würde daher eine ausführliche Besprechung seiner Theorie voraussetzen; eine solche liegt aber nicht im Rahmen dieser Arbeit.

Morphologie der weiblichen Blüten.

Zunächst wollen wir uns nun über die morphologischen Verhältnisse der weiblichen Blüten im allgemeinen orientieren[4] und dann die Entwicklungsgeschichte einer einzelnen Blüte verfolgen. Die weiblichen Blüten von *Betula* stehen am Ende ein- bis dreiblättriger Triebe in razemös aufgebauten Kätzchen, die einzeln, selten zu zweien, in den Achseln von Deckblättern entstehen. Sie werden schon im Sommer vor ihrer Reife angelegt — Lohwag[5] fand ihre erste Anlage bei *Betula papyrifera* am 4. Juni (1907), bei *Betula alba* am 8. Juni — und überwintern in der Knospe. Die Spindel des Kätzchens trägt meist in der Anordnung $^5/_{13}$ Deckblätter, in deren Achseln dreiblütige Dichasien sitzen. Jede Mittelblüte hat nämlich zwei Vorblätter, die in ihren Achseln je eine Seitenblüte erzeugen. Am Querschnitte durch eine solche Blütengruppe (Fig. 1) erkennt man, daß die mittlere Blüte am höchsten inseriert ist, da ein Schnitt, der sie in Verbindung mit der Achse zeigt, die Seitenblüten schon oberhalb ihrer Insertionsstelle trifft (Fig. 1, 1). In wenigen Fällen fand ich nur die Mittelblüte mit ihren Vorblättern entwickelt, die Seitenblüten fehlten (Fig. 2), und zwar mehreremal

[1] Schacht, Entwicklungsgeschichte der Cupuliferen- und Betulineenblüte in »Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Gewächse«, Berlin 1854.

[2] Wolpert, Vergleichende Anatomie und Entwicklungsgeschichte von *Alnus Alnobetula* und *Betula*; Flora, Band 100 (1910).

[3] Celakovsky, Epilog zu meiner Schrift: »Über die Placenten der Angiospermen«. Sitzungsberichte der königl. böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften, 1899, p. 17 und 19.

[4] Kirchner, Loew, Schröter, Lebensgeschichte der Blütenpflanzen Mitteleuropas, Bd. II, 1. Abt., Bogen 13 bis 18: Cupuliferen.

[5] Lohwag, Beitrag zur Kenntnis der Zeit der ersten Blütenanlage bei Holzpflanzen. Öst. bot. Zeitschrift, LX. Jahrgang, p. 372.

an derselben Infloreszenz. — Jede Blüte besteht nur aus dem Fruchtknoten mit zwei Narben, ein Perianth ist nicht vorhanden. Im fertigen Zustande (Fig. 3) ist er im unteren Teile durch eine median, also senkrecht zum Deckblatte verlaufende Scheidewand in zwei Fächer geteilt; oben stehen diese durch einen transversalen Spalt miteinander in Verbindung, da der Zusammenhang der Scheidewand mit den Wänden des Fruchtknotens an der inneren, der Achse zugekehrten Seite früher aufhört als an der äußeren, dem Deckblatte zugekehrten Seite. Die Scheidewand reicht also nicht bis zur Spitze der Fruchtknotenhöhle, sondern endet früher, indem sie sich nach der Trennung von der inneren Wand in einer Vorwölbung der äußeren fortsetzt, die sich nach oben allmählich verliert. — Der früher erwähnte quergestellte Spalt setzt sich nach oben weiter fort, wobei er im Griffelteil immer enger wird, und mündet zwischen den beiden transversal, also über den Fruchtknotenfächern stehenden Narben nach außen. Erst bei der völlig reifen Frucht tritt oben ein vollkommener Verschluß der Fruchtknotenhöhle ein. — Ziemlich hoch oben an der Scheidewand ist in jedem Fach eine anatrope, von einem Integument umhüllte Samenanlage befestigt, deren Mikropyle aufwärts und auswärts gerichtet ist. Befruchtet werden beide Ovula, aber nur eines entwickelt sich weiter; die Frucht, ein Nüßchen, ist daher einsamig. Sie trägt an jeder Seite einen zarten, durchsichtigen Flügel, der aus zwei Lamellen besteht, die eine direkte Fortsetzung der Fruchtknotenepidermis bilden. — Zur Zeit der Fruchtreife verwächst das Deckblatt mit den beiden Vorblättern zu einer dreilappigen Schuppe, die sich samt den Früchten von der Spindel loslöst.

Entwicklungsgeschichte des Fruchtknotens nach eigenen Untersuchungen.

Um in der Entwicklung der Blüte kein Stadium zu überspringen, fixierte ich die weiblichen Infloreszenzen in ganz kurzen Zeiträumen, nämlich nach je fünf bis sechs Tagen; zur Zeit der Bestäubung, wo die Entwicklung sehr rasch vor sich geht, in Zwischenräumen von je zwei bis drei Tagen teils in Alkoholeisessig, teils in Alkohol allein. Sie wurden dann in Paraffin eingebettet und die Mikrotomschnitte mit Safranin oder mit Safraningentianaviolett, einige auch mit Hämatoxylin gefärbt. Wolpert's Angabe,[1] daß sich die Entwicklungsgeschichte der weiblichen Blüten im Gegensatze zu der der männlichen nicht gut auf Serienschnitten verfolgen läßt, kann ich nicht bestätigen. Ich fand, daß sich namentlich die jungen Stadien ausgezeichnet schneiden lassen; die älteren, schon verholzenden, ergeben zwar öfter keine lückenlosen Serien, doch immerhin brauchbare Präparate. Und wenn die Rekonstruktion der männlichen Blüten als körperliche Gebilde aus Schnitten möglich ist, so sehe ich keinen Grund, warum sie bei den weiblichen unmöglich sein soll; die Schwierigkeit ist in beiden Fällen ganz dieselbe. — Auch Nawaschin stützt sich in seiner Darstellung zum großen Teil auf Mikrotomschnitte.

Betrachten wir nun eine ganz junge Infloreszenz (3. Juli 1915) im Längsschnitte. Die Blütenanlagen erscheinen als rundliche, meristematische Höcker in den Blattachseln (Fig. 4). An lospräparierten Deckblättern kann man deutlicher als an Schnitten die Anlagen der Mittelblüte, ihrer Vorblätter und der Seitenblüten erkennen (Fig. 4 *a*). Fig. 5 zeigt eine am 11. Oktober fixierte Infloreszenz im Längsschnitt, Fig. 5 *a* ein Dichasium in der Achsel eines Deckblattes. Am Querschnitte sehen wir die beiden Vorblätter ein wenig gegen das Deckblatt verschoben, nicht genau rechts und links stehend (wie es dem theoretischen Diagramm entsprechen würde). Fig. 6. In diesem Stadium tritt am Scheitel jeder Blütenanlage eine leichte Einsenkung auf (Fig. 5, 5 *a*, 7), offenbar bleibt die Mitte im Wachstum zurück. Bald erheben sich zwei transversal, also rechts und links stehende Höcker, die Anlagen der beiden Narben (Fig. 8, 9), die schon in diesem Stadium durch die Färbung sich dem übrigen Gewebe gegenüber als differenziert erweisen. Während sie sich verlängern, wächst auch der Rand der Blüten-

[1] L. c., p. 47.

anlage, stets in Verbindung mit ihnen, empor, wobei der innere, der Achse zugekehrte, dem äußeren gegenüber gefördert erscheint. Der Querschnitt durch eine Blüte (Fig. 10) hat daher die Form eines Halbmondes, dessen Öffnung gegen das Deckblatt gerichtet ist. Dieses Zurückbleiben der Außenseite wird später ausgeglichen, im fertigen Zustande sind beide Seiten gleich hoch. — In einer etwas älteren Blüte sind die Narben auch außen an ihrer Basis vereinigt; unterhalb der halbmondförmigen Schnitte gibt es daher auch ringförmige (Fig. 11). Diese jetzt emporwachsenden Blütenteile bilden eine oben offene Höhlung, die als Anfang der Fruchtknotenhöhle zu betrachten ist. In diesem Stadium zeigt sich schon eine Andeutung der Gefäßbündel, die später in die beiden Narben gehen, in der Längsstreckung gewisser Zellen (Fig. 12).

Die Infloreszenz ist zu dieser Zeit noch immer in der Knospe eingeschlossen; das Wachstum geht sehr langsam vor sich, denn vom ersten Auftreten der Narben (etwa Ende Dezember) bis zum Aufbrechen der Knospen (Mitte April) findet nur dieser Teil der Entwicklung statt; die Vollendung geht viel rascher und ist im wesentlichen Mitte Mai schon abgeschlossen. — Beim Aufbrechen der Knospen, das zugleich mit dem Stäuben der männlichen Blüten eintritt, erfahren die Narben eine bedeutende Verlängerung; dadurch kommen sie zwischen den Deckblättern hervor, was ja für das Auffangen der Pollenkörner wichtig ist. Damit ist das Stadium erreicht, das Nawaschin als das erste bezeichnet; der Fruchtknoten ist noch unentwickelt, die Blütenachse hat als erstes Blattpaar die Carpellblätter getrieben.

Mit dem Stäuben der männlichen setzt nun die weitere Entwicklung der weiblichen Blüten ein, die am deutlichsten auf Querschnitten zu verfolgen ist. Fig. 13 zeigt vier Schnitte, die derselben Serie angehören. Im untersten (Fig. 13 *a*) tritt ein zentraler Gewebeanteil deutlich hervor, da er sich viel stärker anfärbte. Im nächsten Schnitte verläuft mitten durch dieses Meristem, das ich als Anlage der Placenta betrachte, in transversaler Richtung ein Spalt, der es in eine innere, der Achse zugewendete, und in eine äußere, dem Deckblatte zugewendete Hälfte teilt, die in dieser Höhe ziemlich gleich sind. Höher oben aber werden sie ungleich, die äußere Hälfte ist stärker entwickelt; sie reicht auch höher hinauf als die innere. Schließlich hört aber auch sie auf und nun wiederholen die nächsten Schnitte fast ganz genau die Formverhältnisse der jüngeren Stadien: es folgen nämlich solche, die in der Mitte den Spalt zeigen, der zwischen den Narben verläuft und jetzt oben die Fortsetzung der sich entwickelnden Fruchtknotenhöhle bildet; dann Schnitte, die zwar noch die innere, aber nicht mehr die äußere Wand treffen, die anfängliche Förderung der Innenseite ist also hier noch zu erkennen. Zuletzt erscheinen nur mehr die beiden Narben getroffen (Fig. 14). — Offenbar ist die Blüte ringförmig in die Höhe gewachsen, die älteren Teile wurden von den neugebildeten emporgehoben. Der tiefste Punkt des Spaltes, der die ganz jungen Blüten durchzieht, ist jetzt an der Basis der Narben zu suchen; alles darunterliegende ist durch ein völlig einheitliches Emporwachsen entstanden. — Das stimmt genau mit Nawaschin's Darstellung[1] überein, nach der »die zwei Carpellblätter nur die Narben und den kurzen Griffelteil bilden, während der untere Teil des Fruchtknotens durch das Heranwachsen der Achse entsteht«.

In der Regel gliedert sich der äußere Anteil der Placenta, der anfangs (Fig. 13 *b, c*) als unsymmetrische Vorwölbung erscheint, beim weiteren Wachstum seitlich von der Wand ab (Fig. 15), während der innere sich durch seine Beschaffenheit zwar noch deutlich von der Umgebung unterscheidet, aber in inniger Verbindung mit ihr bleibt. Es kommt zuweilen vor, daß auch der innere Anteil der Placenta seitlich frei wird; solche abweichende Fälle möchte ich aber erst später besprechen und mich jetzt auf die normale Entwicklung beschränken, bei der das an der Achsenseite liegende Meristem beim weiteren Wachstum allmählich verschwindet.

Die Tangentialschnitte zeigen in Übereinstimmung mit den eben besprochenen Querschnitten die Placenta am Grunde der Fruchtknotenhöhle als meristematischen Zapfen. Fig. 16 entspricht genau

[1] L. c., p. 6.

einem Schnitt durch Fig. 14_9 in der Linie *a...b*; die äußere, zur Weiterentwicklung kommende Placenta ist also auf einer Seite noch nicht frei. Etwas ältere Fruchtknoten ergeben Bilder wie Fig. 17 *a* und 17 *b* (aus derselben Serie); der dem Deckblatte näher liegende Schnitt *a* zeigt die Placenta in Verbindung mit der Wand, von der sie sich durch ihre Beschaffenheit deutlich unterscheidet; in einem der nächsten Schnitte (Fig. 17 *b*) ragt sie scheinbar frei empor. Man darf sich aber durch dieses Bild nicht verleiten lassen, zu glauben, daß dieser Zapfen wirklich allseitig frei emporragt; der Vergleich mit dem entsprechenden Querschnitt (Fig. 15) beweist, daß er in einer auf die Bildfläche normalen Ebene mit der äußeren Fruchtknotenwand zusammenhängt. Im Tangentialschnitt kann also diese Verbindung nicht getroffen werden; wenigstens zeigt sie ein einzelner Schnitt nicht in klarer, anschaulicher Weise, die Rekonstruktion der aufeinanderfolgenden Schnitte muß natürlich völlige Übereinstimmung mit den Querschnitten ergeben. — Es treten dann als erste wahrnehmbare Anlagen der Ovula rechts und links an der Placenta zwei meristematische Höcker auf, wodurch sie nach Nawaschin's Ausdruck »gelappt« erscheint (Fig. 18).

Vergegenwärtigen wir uns jetzt noch einmal den Entwicklungszustand einer einzelnen Blüte — er entspricht offenbar dem zweiten Stadium in Nawaschin's Darstellung —, um zu sehen, welche Veränderungen bis zur definitiven Ausgestaltung noch vor sich gehen müssen. Es ist schon deutlich eine Fruchtknotenhöhle vorhanden, die allerdings sehr eng ist; oben findet sie ihre Fortsetzung in dem zwischen den Narben nach außen mündenden Spalt, ist also ungeschlossen. Ein radialer, durch die Mitte der Blüte gehender Längsschnitt trifft den Spalt seiner ganzen Länge nach, zeigt also besonders deutlich, daß der Fruchtknoten oben ungeschlossen ist. Die weiter rechts und links liegenden Schnitte treffen die Höhlung dort, wo sie durch die transversal stehenden Narben oben abgegrenzt erscheint (Fig. 19). — Die ersten Querschnitte durch die Höhle, von unten an gezählt, zeigen an der dem Deckblatte näher liegenden Wand die Anlagen der zwei Ovula. Gehen wir tiefer in jene Region, wo keine Höhlung mehr vorhanden ist, so hebt sich in den nächsten Schnitten stets noch ein zentrales Gewebe deutlich hervor; es ist aber nicht scharf gegen seine Umgebung abgegrenzt. In noch tieferen Schnitten verschwindet es, das ganze Gewebe des Fruchtknotens ist hier durchaus gleichartig (Fig. 18).

In nur wenig älteren Blüten sehen wir in der Serie der Querschnitte zwischen den Schnitten mit dem zentralen Meristem und denen mit den wandständigen Anlagen der Ovula noch solche auftreten, die rechts und links je einen Spalt aufweisen, der von ungleichartigen Elementen begrenzt ist: außen schwach färbbare, große Zellen, innen kleine, meristematische (Fig. 20). Damit ist aber ein Querschnittsbild gegeben, wie es ganz ähnlich im fertigen Zustande in einer bestimmten Höhe wiederkehrt, nämlich eine zentrale Scheidewand, die rechts und links je eine Samenanlage trägt. Offenbar ist diese Zone durch das Heranwachsen des zentralen Meristems und die gleichzeitige ringförmige Erhebung der Fruchtknotenwand entstanden. Das Meristem wird bei der Bildung der Scheidewand aufgebraucht. — Während aber früher die Placenta an ihrer inneren Seite frei war — auch Nawaschin gibt ausdrücklich an,[1] daß die Anlage der Samenknospen »an der freien, inneren Seite der axilen Placenta« erfolgt — bleibt sie jetzt beim Emporwachsen auch mit der inneren Fruchtknotenwand verbunden. Es ist klar, daß dadurch eine mediane Scheidewand entsteht, die absolut keine Verwachsungsstelle zeigt, sondern ganz einheitlich ist (Fig. 20). Im obersten Teile trägt sie links und rechts die Ovula; diese vergrößern sich in dieser Zeit bedeutend. Während sie früher eine schwache, meristematische Vorwölbung an der Placenta bildeten (Fig. 21), erscheinen sie jetzt als halbkugelige Höcker (Fig. 22). Infolge dieser Größenzunahme greifen sie mit ihrer Insertionsstelle auf die heranwachsende Scheidewand über, zeigen also schon dasselbe Verhalten wie im fertigen Zustande: sie sind teils an der äußeren Wand, teils an der medianen Scheidewand befestigt (Fig. 23 und Fig. 3). Durch weiteres gemeinsames Emporwachsen von Fruchtknoten- und Scheidewand entsteht schließlich

---

[1] L. c., d. 7.

der unterste Teil der beiden Fächer. Der die Ovula tragende Scheitel der Placenta wird immer höher emporgehoben, während der unterhalb entstehende Teil nicht mehr als Träger der Samenanlagen erscheint, sondern nur die beiden Fächer abgrenzt, in die sie nach ihrer völligen Ausbildung hineinhängen.

Damit nähern wir uns immer mehr dem dritten Stadium, dem der definitiven Ausgestaltung des Fruchtknotens. An den Samenanlagen beginnen sich Nucellus und Integument zu differenzieren (Fig. 24). Aus dem Rest meristematischen Gewebes an der der Achse näher liegenden Wand bildet sich um diese Zeit ein Wulst aus, der sich an der gegenüberliegenden Wand zwischen die beiden Ovula hineinlegt, zwischen denen er sich mit der Placenta vereinigt (Fig. 25). Er bildet so eine Fortsetzung der Scheidewand nach oben hin an der Innenseite. — An der Fruchtknotenwand kann man nun schon die außen gelegenen mechanischen Elemente und das lockere Parenchym unterscheiden, das Nawaschin als »Füllgewebe« bezeichnet.[1] Es spielt eine wichtige Rolle bei der Vermittlung der Befruchtung, indem es den Pollenschlauch, der noch nicht die Fähigkeit, Hohlräume zu durchwachsen, erlangt hat, zu den Samenanlagen leitet. Mit seiner Ausbildung hängt auch der Verschluß der Fruchtknotenhöhle, die bis jetzt oben offen ist, aufs engste zusammen. Denn das Füllgewebe bildet an der Innenseite die Fortsetzung des Wulstes, der sich zwischen die Ovula hineinlegt, nach oben hin; an der Außenseite eine Fortsetzung der Ovula, so daß auf Querschnitten in dieser Höhe scheinbar noch zwei wandständige Samenanlagen vorhanden sind, wenn man nur den Umriß betrachtet. Bei stärkerer Vergrößerung sieht man aber, daß das Gewebe hier aus den charakteristischen, lockeren, inhaltsarmen Parenchymzellen besteht (Fig. 26), also als »Füllgewebe« zu betrachten ist. — Durch dieses Hineinwuchern des Füllgewebes von den Wänden nach innen wird die Fruchtknotenhöhle oben schon bedeutend verengt. Je mehr wir uns nun dem Griffelteil nähern, desto kleiner wird der Querschnitt des ganzen Fruchtknotens und damit nimmt auch die Öffnung nach oben ab, und zwar rascher in transversaler Richtung als in medianer. Die Vorwölbungen des Füllgewebes treten immer mehr zurück (Fig. 27 *a* und 27 *b*), so daß schließlich nur ein ganz schmaler Spalt von rechts nach links verläuft (Fig. 28). Es kommt zu einer Berührung der äußeren und inneren Wand (Fig. 29 *a*), die Grenze zwischen ihnen ist hier noch deutlich wahrzunehmen. Bei der reifen Frucht tritt ein Verschmelzen und damit ein völliger Verschluß ein (Fig. 29 *b*).

Fig. 28 zeigt auch die schon von Nawaschin beschriebene Stärkeanhäufung im Griffelteile. Im höher gelegenen Schnitt ist die Stärke in der Nähe der Gefäßbündel lokalisiert, tiefer unten aber gleichmäßig verteilt. Vielleicht dienen die zwei in die Narben gehenden Gefäßbündel unter anderem auch der Zuleitung dieses Reservestoffes, der für die Ernährung des Pollenschlauches in der Zeit zwischen Bestäubung und Befruchtung hier aufgespeichert wird.[2] Für die Versorgung der Ovula kommen sie wohl nicht in Betracht, sie stehen in gar keiner räumlichen Beziehung zu ihnen. Die Samenanlagen werden durch ein Gefäßbündel ernährt, das die zentrale Scheidewand der Länge nach durchzieht und sich oben in zwei Äste gabelt, die in die Ovula gehen.

Die Bildung der häutigen Flügel, die an beiden Seiten der Frucht zu finden sind, beginnt ungefähr gleichzeitig mit der der Scheidewand. Die Epidermiszellen, die den Fruchtknoten seitlich begrenzen, zeigen einen deutlichen Unterschied gegen die benachbarten: sie sind in lebhafter Teilung begriffen und führen einen großen Kern, während die übrigen schon völlig erwachsen erscheinen (Fig. 30). Da die inneren Zellen sich nicht oder nur in viel geringerem Maße vergrößern und vermehren, so haben die Epidermiszellen hier nicht mehr alle nebeneinander Platz. Sie drängen sich gegenseitig hinaus, und zwar kann es, wie sich aus der Zeichnung ohneweiters ergibt, am leichtesten an der seitlichen Kante des Fruchtknotens geschehen, daß sich der Gewebeverband der Zellen löst: so entstehen die beiden einen Hohlraum einschließenden Lamellen als direkte Fortsetzung der Epidermis des Fruchtknotens (Fig. 31).

---

[1] L. c., p. 9.

[2] L. c., p. 20.

Vergleich mit den Ergebnissen der früheren Arbeiten.

Nawaschin.

Im allgemeinen stimmen meine Ergebnisse mit denen Nawaschin's überein, nur in zwei Punkten weiche ich von ihm ab: 1. in der rein mechanischen Erklärung der Placentation, die er gibt; 2. in der Frage, ob an der inneren Wand des Fruchtknotens Samenanlagen auftreten können oder nicht.

Nawaschin versucht eine rein mechanische Erklärung der Placentation bei *Betula* in folgender Darstellung:[1] »Die ganze Blütenanlage erfährt von den Wänden der Achselhöhle einen stetigen Druck, den sie nach der Richtung des minderen Widerstandes, nämlich nach außen, zu überwältigen sucht, indem sie ihr Deckblatt mehr und mehr abdrängt. Aus diesen Umständen resultiert die plankonvexe Form der Blütenanlage, welche mit ihrer konvexen Außenseite dem Deckblatt zugekehrt ist. — Der ungleichmäßige Druck, den die Blütenanlage bei ihrer Entwicklung erfährt, bewirkt aber noch eine andere, weit wichtigere Erscheinung als die Hervorwölbung der Außenseite des jungen Fruchtknotens, obgleich die erstere durch die letztere gewissermaßen beeinflußt, respektive gekennzeichnet ist. Die resultierende Form der Blütenanlage erweist nämlich, daß hier eine Bevorzugung des Wachstums der äußeren Seite stattfinden muß. Die Scheitelmitte der Blütenachse, in dieses einseitige Wachstum passiv hineingezogen, wird auf die Wand der rudimentären Fruchtknotenhöhle ein wenig hinaufgerückt. — Will man das dadurch sich ergebende Verhalten als durch Verwachsen des Scheitels der Blütenachse mit der äußeren Wand des Fruchtknotens entstanden deuten, so kann dies wohl ebenso berechtigt sein, da die Scheitelmitte allein sich hier als reines Produkt der Achse betrachten läßt, während man den unteren Teil der Fruchtknotenwand ebensogut für ein Blattgebilde als für einen peripheren Teil der Achse halten kann. Im nachstehenden wird jedoch die erste, rein mechanische Deutung der Entstehungsart des angegebenen Verhaltens ihre volle Berechtigung finden.«

Um nun im einzelnen auf Nawaschin's Erklärungsversuch einzugehen, wollen wir zunächst fragen, wodurch denn in der Achselhöhle ein Druck zustande kommt und wieso er ungleich ist. Die Infloreszenzen werden in festgeschlossenen Knospen angelegt. In der Achsel jedes Deckblattes entsteht eine Mittelblüte, ihre zwei Vorblätter und in deren Achseln die Seitenblüten. Allen diesen Bestandteilen des Dichasiums steht bis zum Aufbrechen der Knospen nur ein beschränkter Raum zur Verfügung, da außen das Deckblatt und innen die Achse ein Hindernis bildet. Seitlich grenzen andere Dichasien an, die sich auch auszudehnen trachten, wobei ihre Bestandteile sich in verschiedener Weise ineinander schieben, um den Raum möglichst auszunutzen. Die Achse kann nun dem Drucke der wachsenden Blüten nicht ausweichen, da die Wirkungen aller rings an ihr inserierten Blüten sich offenbar gegenseitig aufheben; das Deckblatt aber kann nach außen abgedrängt werden, anfangs nur wenig, beim Öffnen der Knospen aber immer mehr. Dadurch wird an Raum gewonnen, und zwar nicht nur nach außen, sondern auch seitlich, da mit der Entfernung von der Achse auch der Abstand von den benachbarten Blütengruppen in tangentialer Richtung zunimmt. — Genau genommen ist es also ein Widerstand, den das Deckblatt den sich vergrößernden Blatt- und Blütenanlagen entgegensetzt. Er äußert sich natürlich als ein von außen nach innen wirkender Druck des Deckblattes; aber er muß stets etwas kleiner als der von innen nach außen wirkende sein, sonst könnten ja die Blüten ihr Deckblatt nicht abdrängen. Das macht es schon unwahrscheinlich, daß dieser Widerstand oder Druck des Deckblattes einen formenden Einfluß auf die Blüte hat; denn sie erweist ja durch ihr Hinausdrängen des Deckblattes, daß die ihr innewohnende Wachstumsenergie hinreicht, um dieses Hindernis allmählich zu überwinden. — Indirekt überwältigt sie dadurch auch den Widerstand der Achse, der sonst unüberwindlich wäre, indem sie ihm einfach ausweicht.

[1] L. c., p. 5.

Wenn nun auch tatsächlich der Widerstand an der Außenseite der Achselhöhle des Deckblattes geringer ist als an der Innenseite, so folgt daraus durchaus nicht mit Notwendigkeit, daß die Außenseite der Blütenanlage der Innenseite gegenüber eine Förderung im Wachstum erfahren muß. Denn durch das Hinausdrängen des Deckblattes wird der Raum in der Achselhöhle größer. Dadurch gewinnen aber alle hier vorhandenen Blüten- und Blattanlagen, sowie sie ja auch alle gemeinsam das Hinausdrängen verursachen. Wollte man annehmen, daß nur die dem Deckblatt unmittelbar benachbarten Teile von dieser Vergrößerung des Raumes Vorteil haben, so kämen da zunächst gar nicht die Blüten in Betracht, sondern in erster Linie die Vorblätter; an sie grenzen nach innen die Seitenblüten, ganz innen erst (und etwas höher inseriert), liegt die Mittelblüte (Fig. 32), auf die also der Druck des Deckblattes nur mittelbar durch die Vorblätter und Seitenblüten wirken kann.

Ganz dieselbe Überlegung aber gilt für die Aufteilung des in der Achselhöhle gegebenen Raumes zwischen Innen- und Außenseite einer einzelnen Blütenanlage. Betrachtet man etwa, um die Sache zu vereinfachen, ein Dichasium, in dem nur die Mittelblüte entwickelt ist — solche gibt es ja (Fig. 2), wie schon erwähnt wurde — so ist nicht einzusehen, warum nur die Außenseite allein sich ausdehnen soll; die Innenseite wächst ja auch und drängt dabei einerseits die Außenseite hinaus, andrerseits hilft sie sicher auch beim Hinausdrängen des Deckblattes. Daraus folgt aber eine gleichmäßige Aufteilung des Raumes zwischen Außen- und Innenseite, keine Benachteiligung letzterer. Eine ungleiche Verteilung wäre denkbar, wenn man gleichsam einen festen Punkt in der Achselhöhle annehmen wollte, der nicht nach außen verschoben werden kann. Wenn etwa die Blütenanlage schon im jüngsten Zustand denselben Winkel mit der Achse bildet wie die erwachsene Blüte, so entfällt auf ihre Innenseite während der ganzen Entwicklung stets derselbe Teil des Raumes zwischen Deckblatt und Achse. Dieser ist aber in der geschlossenen Knospe offenbar kleiner als in der geöffneten, da in ersterer das Deckblatt steiler gegen die Achse aufgerichtet ist. Unter dem Raummangel in der Knospe würde in diesem Falle also nur die Außenseite der jungen Blüte zu leiden haben; sie wäre durch das fest anschließende Deckblatt gehemmt. Dagegen hätte die Innenseite genügend Raum zu ihrer Entwicklung. Der radiale Längsschnitt zeigt aber nichts derartiges; sondern die Blütenanlage stellt sich immer so ein, daß sie den Winkel zwischen Deckblatt und Achse halbiert.

Sind nun auch die Seitenblüten vorhanden, was ja meist der Fall ist, so ist die Sache viel weniger einfach und übersichtlich. Es läßt sich dann kaum eine sichere Angabe über die Verteilung des Druckes machen. Alle vorhandenen Blüten- und Blattanlagen beeinflussen sich gegenseitig; es ist nicht wahrscheinlich, daß eine bestimmte Verteilung des Druckes konstant erhalten bleibt, was ja der Fall sein müßte, wenn er auf die Form und innere Ausgestaltung der Blüte einen entscheidenden Einfluß haben soll. Auch bleibt es fraglich, ob er ganz gleichartig auf die Mittel- und die Seitenblüten wirken würde. In diesem Zusammenhang soll auch noch besonders auf den halbmondförmigen Querschnitt des jungen Fruchtknotens hingewiesen werden, der zeigt, daß die äußere Wand weniger hoch hinauf reicht als die innere: ein Umstand, der durchaus nicht für eine Förderung der Außenseite spricht.

Man kann sich auch deshalb so schwer eine klare Vorstellung von der Wirkung des Druckes bilden, weil keine Achselhöhle in sich abgeschlossen ist; sondern bei dem innigen Aneinanderlegen und Ineinanderschieben der Blüten- und Blattanlagen benachbarter Dichasien muß sich eine Druckänderung in einer Achselhöhle auch in den angrenzenden geltend machen. Es scheint mir überhaupt unmöglich, diesen wechselnden und in ihrer Wirkungsweise kaum faßbaren Druckverhältnissen einen entscheidenden Einfluß auf die Ausgestaltung des Fruchtknotens zuzuschreiben Auch möchte ich hervorheben, daß ich eine wirklich rein mechanische Erklärung der Placentation nicht für möglich halte. Denn die Placentation ist von äußeren Einflüssen unabhängig; sie hat meiner Auffassung nach keine biologische, sondern phylogenetische Bedeutung. Daher ist sie nur als ein von den Vorfahren ererbtes Merkmal verständlich, nämlich durch Einordnung in eine phylogenetische Reihe. Sie ist, kurz gesagt, kein Anpassungs-, sondern ein Organisationsmerkmal und als solches einer ausschließlich kausalen Erklärung nicht zugänglich und auch nicht bedürftig.

Nach Nawaschin kommt die Wachstumsförderung der Außenseite der Blütenanlage in ihrer Vorwölbung zum Ausdruck; die Blüte hat demnach eine plankonvexe Form. Wenn nun auch ein ungleicher Druck nicht in diesem Sinne wirkt, so könnte doch vielleicht eine solche Form aus anderen Ursachen zustande kommen. Aber Querschnitte durch verschiedene Blütengruppen (Fig. 32) zeigen, daß das nicht der Fall ist. Die meisten Blüten ergeben im Querschnitt ein Rhomboid; die mehr oder minder großen Abweichungen von dieser Grundform erscheinen als Folgen einer Anpassung an den gegebenen Raum, wobei eine gegenseitige Hemmung der Blüten- und Blattanlagen eintreten kann. Es kommt sogar gelegentlich gerade das Gegenteil der von Nawaschin beschriebenen Form zustande: eine flache Außen- und eine konvexe Innenseite.

Eine weitere Folge der Förderung der Außenseite ist nach Nawaschin's Darstellung, daß der Axenscheitel passiv in dieses einseitige Wachstum mitgezogen wird, wodurch er an die Basis der äußeren Fruchtknotenwand zu stehen kommt. Da die Hervorwölbung der Außenseite der Blüte und ihre Förderung im Wachstum meiner Ansicht nach nicht zutrifft, so ist auch die dadurch verursachte Verschiebung des Axenscheitels nicht zu erwarten; tatsächlich läßt sich an den Präparaten nachweisen, daß keine Verschiebung eintritt. Nawaschin's »Axenscheitel« ist ja offenbar mit dem zentralen Meristem, das als Anlage der Placenta auftritt (Fig. 13), identisch. Er ist nach Nawaschin[1] »von Anfang an der Fruchtknotenwand angewachsen, die axile Placenta erscheint somit wandständig«. Die meristematische Anlage der Placenta wächst, wie wir gesehen haben, in Verbindung mit der sich ringförmig erhebenden Fruchtknotenwand empor. Soweit ist die Übereinstimmung in der Entwicklung dieser beiden wohl mit Recht identifizierten Teile (Axenscheitel Nawaschin's und das in Fig. 13 erscheinende Meristem) eine vollkommene. Weiterhin aber weicht meine Darstellung von der Nawaschin's nicht unwesentlich ab: denn in einem Querschnitt durch eine Blütenanlage erscheint das Meristem nicht nur außen, sondern auch innen in der Fruchtknotenhöhle, während der »Axenscheitel« infolge der Verschiebung nur außen an der Basis der Fruchtknotenwand steht. Man kann allerdings insofern von einer Bevorzugung der Außenseite sprechen, als sie es ist, die normalerweise die Samenanlagen erzeugt. Aber der Anlage nach sind beide Seiten gleich, womit die Tatsache gut übereinstimmt, daß ab und zu auch innen Ovula zur Entwicklung kommen. Dabei können die 2 außen stehenden, die für *Betula* typisch sind, erhalten bleiben, dann tritt eine Vermehrung ein; oder es kommt 1 Samenanlage innen, 1 außen zur Entwicklung, in welchem Falle sie meist gekreuzt stehen (Fig. 33). Nawaschin berücksichtigt nur solche Fälle, wo eine Vermehrung eingetreten ist und sagt darüber:[2] »Die anatomische Untersuchung abnorm ausgebildeter Samenträger zeigte mir weiter, daß die Fähigkeit der Erzeugung von Samenanlagen dem Schacht'schen unfruchtbaren Samenträger überhaupt abgeht, denn derselbe trägt keine Samenanlagen, auch da, wo die letzteren in einem Fruchtknoten in Mehrzahl erzeugt werden. Sie sind in einem solchen Falle immer nur an der gemeinschaftlichen axilen Placenta wechselständig wie echte Blätter angeordnet, die beiden wandständigen Samenträger erweisen sich als unfruchtbar. Sie sind bloße Wandwucherungen des Griffelkanales, die dem sterilen Füllgewebe ihre Entstehung verdanken und mit der Erzeugung von Samenanlagen nichts zu tun haben.« Das ist insofern nicht richtig, als auch die 2 normalerweise vorhandenen Ovula nicht nur an der zentralen Scheidewand angeheftet sind, sondern teilweise auch an der äußeren Wand (Fig. 23) und zwar in einem Zeitpunkt, wo noch gar kein Füllgewebe ausgebildet wurde; daher kann die Verbindung mit der Wand nicht auf »einer partiellen Wucherung des Füllgewebes« beruhen, wie Nawaschin angibt.[2] Sie geht vielmehr auf die Placenta zurück, die in inniger Verbindung mit der Fruchtknotenwand emporwächst, wodurch sie selbst und durch ihre Vermittlung natürlich auch die von ihr erzeugten Ovula wandständig erscheinen müssen. Sagt doch Nawaschin selbst an einer Stelle[1]: »Die axile Placenta ist an ihrer äußeren Seite mit der Frucht-

[1] L. c., p. 7.

[2] L. c., p. 10.

knotenwand verschmolzen, während von ihrer freien, inneren Seite sich 2 laterale Segmente abgliedern«. Danach kommt die Verbindung der Ovula mit der Wand nicht ausschließlich sekundär durch eine Wucherung des Füllgewebes zustande. Nach dieser Auffassung beweisen Fälle, wie sie in Fig. 33 dargestellt sind, daß Schacht's unfruchtbarer Samenträger gelegentlich doch Ovula erzeugen kann. Jetzt erklärt sich auch die früher erwähnte, ab und zu beobachtete Weiterentwicklung des inneren Anteiles der Placenta, bei der sie seitlich frei wird; es tritt dann eine meristematische Vorwölbung auf, die ebenso wie bei der äußeren Placenta als Anlage eines Ovulums zu betrachten ist (Fig. 34). Einmal fand ich beide Anlagen an der inneren Placenta (Fig. 35). Da in diesem Falle keine anderen Druckverhältnisse vorausgesetzt werden können als sonst, so ist dieser Ausnahmsfall eine Stütze für meine Ansicht, daß die Placentation nicht ausschließlich durch Druck erklärt werden kann.

Als Resultat des Vergleiches meiner Untersuchung mit der Nawaschin's ergibt sich vollkommene Übereinstimmung; nur seine Angabe, daß der Axenscheitel nach außen verschoben wird, ist unrichtig; er behält seine zentrale Stellung bei. Die Erklärung durch ungleichen Druck, die Nawaschin dafür gibt, ist also nicht nur unmöglich, wie ich zu zeigen versuchte, sondern auch überflüssig. Hingegen ist die andere Ausdrucksweise, die Nawaschin selbst angibt, sehr gut verwendbar: der Axenscheitel verschmilzt sowohl mit der äußeren als auch mit der inneren Fruchtknotenwand. Eine wichtige Stütze für diese Auffassung ist das gelegentliche Auftreten von Samenanlagen an der inneren Seite der Fruchtknotenhöhle; es ist dann nach diesem Verhalten der axilen Placenta ganz verständlich, während es nach Nawaschin's Darstellung unmöglich wäre.

Schacht.

Nawaschin's Arbeit als die wichtigste und ausführlichste habe ich zuerst besprochen; jetzt möchte ich auf Schacht's Arbeit eingehen und dann auf die Wolpert's, der mit ihm im ganzen und großen übereinstimmt. Leider ist Schacht's Darstellung nicht sehr ausführlich. Er gibt an, daß sich bei *Betula (alba)* 2 wandständige Samenträger finden, deren einer Anfang Juni 2 Samenanlagen erzeugt, ohne jedoch die Entstehung dieser Samenträger genau zu schildern. Aber gerade dieser Teil der Entwicklungsgeschichte des Fruchtknotens ist sehr wichtig und erfordert daher eine eingehende Darstellung; denn er zeigt, daß der Schluß von der Wandständigkeit der Ovula auf ihre Wandbürtigkeit durchaus nicht zwingend ist.

Davon abgesehen steckt in Schacht's Arbeit eine Fülle von richtigen Beobachtungen, die durch die folgenden Untersuchungen durchaus bestätigt wurden. Er weist z. B. darauf hin, daß die Fruchtknotenhöhle erst unter den Narben gebildet wird;[1] dann hebt er das späte Erscheinen der Samenknospen und den langen Zeitraum zwischen Bestäubung und Befruchtung hervor;[2] da wir ferner gesehen haben, daß die Ovula meistens an der äußeren, gelegentlich aber auch an der inneren Fruchtknotenwand auftreten können, so muß seine Unterscheidung eines fruchtbaren und eines unfruchtbaren Samenträgers als richtig bezeichnet werden; allerdings nicht genau in Schacht's Sinn, denn Schacht gibt an,[3] »daß der unfruchtbare Samenträger niemals Samenknospen trägt.«

Zieht man außerdem Schacht's Arbeit »Zur vergleichenden Entwicklungsgeschichte des Fruchtknotens und der Samenträger« in Betracht, so ergibt sich eine noch größere Übereinstimmung mit den Ergebnissen der neueren Untersuchungen. In dieser Arbeit trachtet er nämlich auf Grund seiner vielen Untersuchungen über die Blütenentwicklung eine abschließende Deutung des Fruchtknotens herauszuarbeiten. Es ist begreiflich, daß diese Darstellung für die Beurteilung von Schacht's

---

1 L. c., p. 48.

2 L. c., p. 51.

3 L. c., p. 44.

Auffassung sehr wichtig ist. So sagt er hier ausdrücklich, daß der Fruchtknoten der Betulineen[1] »aus einem sich becherartig oder röhrenförmig erhebenden Gebilde« entsteht, also ohne jede Verwachsung; ferner[2] »durch eine Vereinigung mit, oder richtiger durch eine nicht erfolgte Trennung des Mittelsäulchens von den wandständigen Samenträgern wird der Fruchtknoten mehrfächerig«. Die Narben können nach Schacht überall als Blätter betrachtet werden;[3] oberständige Fruchtknoten[4] »können als Blattorgan gedeutet werden, unterständige dagegen müssen in allen Fällen als Stengelorgan betrachtet werden.« Schacht selbst bezeichnet den Fruchtknoten der Birke als oberständig;[5] betrachtet man ihn hingegen als unterständig,[6] so ergibt sich aus den angeführten Stellen für den Fruchtknoten von *Betula* eine Deutung, die mit der Nawaschin's völlig übereinstimmt; um so mehr, als nach Schacht[4] »die Deutung der wandständigen Samenträger in nicht aus verwachsenen Blättern entstandenen Fruchtknoten sich nach der Deutung der letzteren richtet.« Es ist also von Schacht's Standpunkt aus Nawaschin's Deutung wenigstens prinzipiell möglich.

Es wurde schon bei der Besprechung von Nawaschin's Arbeit erwähnt, daß er Schacht's Samenträger für bloße Wandwucherungen des Griffelkanales erklärt. Ich glaube nicht, daß Nawaschin damit Recht hat: Schacht versteht unter »Samenträger« sicher die ganze Placenta von der Spitze der Fruchtknotenhöhle bis zu ihrem Grunde, nicht nur bis zu dem Punkt, wo das »Mittelsäulchen« endet. Das geht unter anderem sehr deutlich aus der schon zitierten Stelle hervor, wo es heißt »durch die nicht erfolgte Trennung des Mittelsäulchens von den wandständigen Samenträgern wird der Fruchtknoten im unteren Teile 2fächerig.« Diese Identifizierung der »Samenträger« Schacht's mit der Placenta scheint mir auch deshalb völlig berechtigt, weil an beiden die Anlage der Ovula in ganz gleicher Weise vor sich geht. Nach Nawaschin's eigenen Worten gliedert ja die axile, wandständige Placenta an ihrer freien inneren Seite die Samenanlagen ab; nach Schacht entwickelt der wandständige Samenträger 2 Samenknospen. Der wichtigste Unterschied zwischen der Auffassung Schacht's und der Nawaschin's bezieht sich demnach nicht auf die Stellung der Placenten beziehungsweise Samenträger, sondern auf ihre morphologische Wertigkeit: Schacht betrachtet sie als die Ränder der nicht getrennten Narbenblätter (läßt aber die Möglichkeit anderer Deutungen offen); Nawaschin weist nach, daß die Samenanlagen keine Beziehung zum Carpell zeigen, sondern unabhängig von ihm an einer axilen Placenta entstehen. Diese axile Placenta steht aber nicht zentral, sondern ist wandständig, wodurch die genetische Zugehörigkeit der Ovula nicht klar hervortritt.

Wolpert.

Infolge der großen Übereinstimmung zwischen Wolpert und Schacht wird vieles, was bei der Besprechung von Schacht's Auffassung gesagt wurde, auch hier seine Geltung haben müssen. Vor allem bezieht sich das auf Wolpert's Polemik gegen Nawaschin: er betrachtet die Placentation der Betulineen als eine wandständige und findet darin einen Gegensatz zu Nawaschin, der von einer Zentralplacenta spricht. Nun gebraucht Nawaschin wirklich öfter den Ausdruck »zentrale« Placenta aber an den entscheidenden Stellen heißt es stets »axil, durch Verwachsung mit der Fruchtknotenwand wandständig«. Deutlicher kann es doch nicht ausgedrückt werden, daß es sich nur um die morphologische Wertigkeit der Placenta handelt, nicht um ihre Stellung. Alle Einwände Wolpert's gegen die zentrale Placentation werden damit hinfällig.

---

1 Schacht, Zur vergleichenden Entwicklungsgeschichte des Fruchtknotens und der Samenträger in »Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Gewächse«. Berlin 1854, p. 91.

2 L. c., p. 75.

3 L. c., p. 94.

4 L. c., p. 99.

5 L. c., p. 91.

6 Wettstein, Handbuch der systematischen Botanik, p. 492; Winkler in Engler, Pflanzenreich.

In der Entwicklungsgeschichte der Blüte, die Wolpert gibt, sind leider dieselben Stadien wie bei Schacht sehr kurz abgetan, nämlich gerade die, welche den Anfang der Entwicklung der Placenta zeigen. Wolpert schildert ausführlich die Anlage der Mittel- und Seitenblüten und der Vorblätter, dann die Entwicklung einer einzelnen Blüte bis zu dem Zustand, in dem sie in die Ruheperiode eintritt (das entspricht Nawaschin's 1. Stadium). Dann heißt es:[1] »Die weitere Entwicklung beruht darauf, daß der untere Teil des Fruchtknotens sein begonnenes Wachstum fortsetzt, während Griffel und Narben ihre Entwicklung abgeschlossen haben. Untersucht man einen jungen Fruchtknoten, dessen Narben zwischen den Deckblättern hervorragen, so findet man bereits die Samenanlagen als abgerundete Höcker an einer wandständigen Placenta angelegt.« Bei einer entwicklungsgeschichtlichen Untersuchung müßte doch näher darauf eingegangen werden, wie es zu diesem Zustand kommt; aber Wolpert konstatiert nur, daß er bereits erreicht ist. Als unrichtig muß seine Auffassung von der Entstehung der Scheidewand bezeichnet werden. Er sagt darüber:[1] »Wenn die beiden Placenten sich in der Mitte des Fruchtknotens vereinigt haben, stellt dieser 2 Fächer dar.« Wir haben gesehen, daß die Scheidewand ganz einheitlich emporwächst und nie eine Verwachsung zeigt; man könnte höchstens sagen, die Placenten bilden in ihrem unteren gemeinsamen Teile die Scheidewand.

Hingegen hat Wolpert Schacht und Nawaschin gegenüber Recht, wenn er die äußere und die innere Fruchtknotenwand ihrer Anlage nach als gleichwertig betrachtet. Nach seiner Angabe stehen bei *Alnus Alnobetula* die 2 Samenanlagen, die zur Entwicklung kommen, meist so, daß eine rechts außen, die andere links innen an der Placenta erscheint (oder umgekehrt); der Spalt zwischen ihnen ist daher S-förmig. Diese Stellungsverhältnisse darf man aber nicht für die Betulineen verallgemeinern; wie schon erwähnt, entstehen bei *Betula* in der überwiegenden Zahl von Fällen beide außen. Wolpert betrachtet also die Anlage von 4 Samenknospen im Betulineen-Fruchtknoten als das ursprüngliche; Nawaschin dagegen offenbar die Zweizahl, da er ja die 2 Samenanlagen für das letzte von der Achse entwickelte Blattpaar hält. Ohne auf die ganze Frage näher einzugehen, möchte ich nur auf den Widerspruch zwischen diesen beiden Annahmen hinweisen. Die Konstatierung der Fertilität der inneren Fruchtknotenwand ist jedenfalls das wichtigste Resultat von Wolpert's Untersuchung, soweit sie sich auf die Entwicklungsgeschichte der weiblichen Blüte bezieht.

Wir können also zusammenfassend sagen, daß die Ergebnisse der Untersuchungen über die Entwicklung der weiblichen Blüte von *Betula*, die im ersten Augenblick so abweichend erscheinen, sich bei näherer Betrachtung in Einklang bringen lassen. Schacht stellt die Entwicklungsgeschichte vollkommen richtig dar; Nawaschin's Hauptverdienst, sein Fortschritt dem älteren Autor gegenüber, ist der Nachweis der axilen Natur der wandständigen Placenta; falsch ist nur seine Angabe, daß sie an der äußeren Fruchtknotenwand allein emporwächst. Wolpert schließt aus dem Auftreten von Samenanlagen an der inneren Wand, daß diese der Anlage nach der äußeren gleichwertig sein muß; ich versuchte zu zeigen, daß man zu dieser Gleichwertigkeit nicht nur durch Schlußfolgerungen gelangt, sondern daß sie sich in der Entwicklungsgeschichte der Blüte direkt nachweisen läßt.

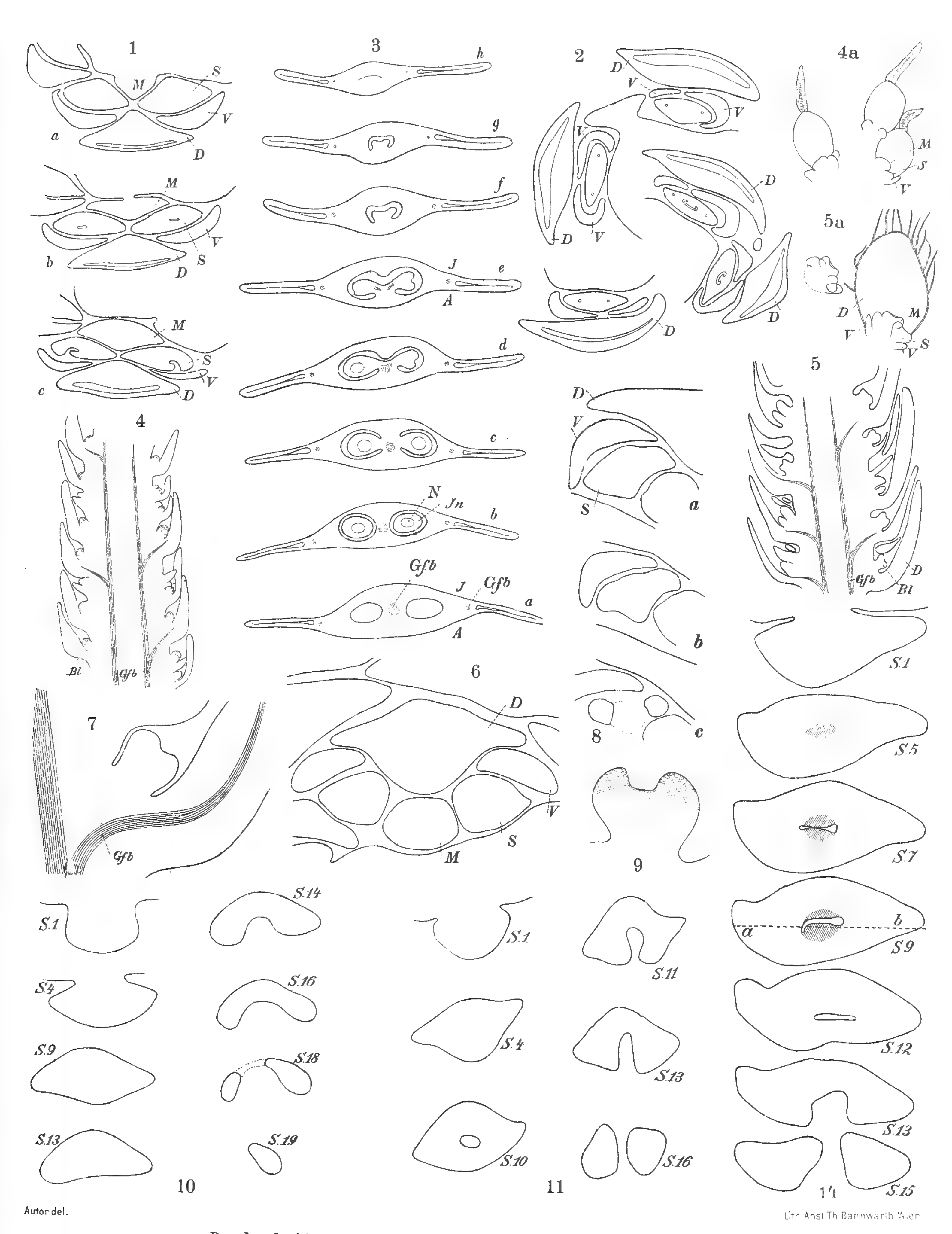
[1] L. c., p. 48.

Zum Schlusse sei es mir gestattet, meinem verehrten Lehrer Hofrat v. Wettstein für seine gütige Hilfe bei der Ausführung meiner Arbeit aufs herzlichste zu danken.

Erklärung der Figuren.

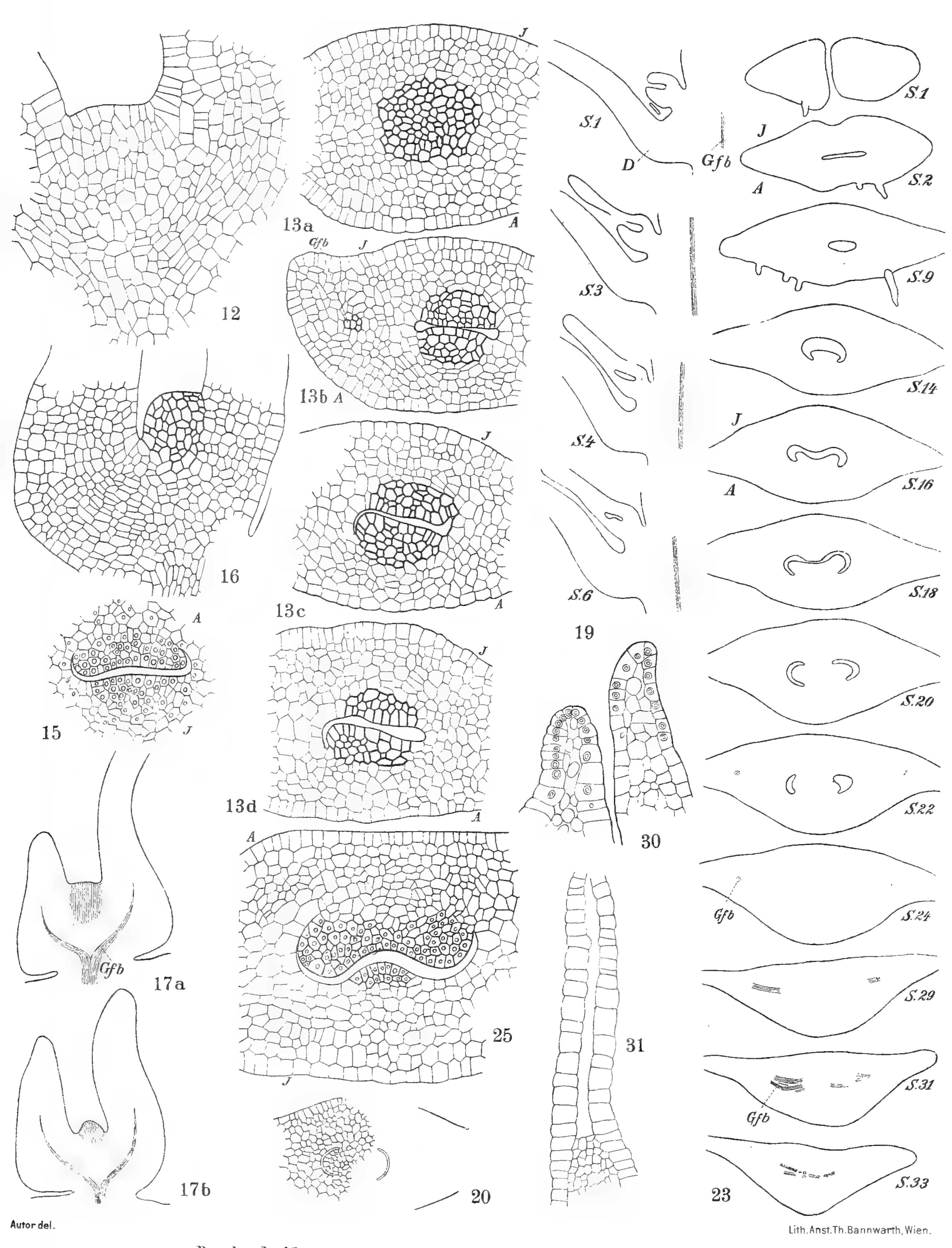
In allen Figuren bedeutet: D = Deckblatt; V = Vorblatt; M = Mittelblüte; S = Seitenblüte; *Gfb* = Gefäßbündel. I = Integument; N = Nucellus; a = äußere, dem Deckblatt zugewendete Seite; i = innere, der Achse zugewendete Seite; *Bl* = Blütenanlage.

Fig. 1. Querschnitte durch ein Dichasium in verschiedener Höhe; 1 = tiefster, 3 = höchster Schnitt.
» 2. » » » Dichasien, in denen die Seitenblüten fehlen.
» 3. » » » einen fertigen Fruchtknoten; 1 = tiefster Schnitt.
» 4. Längsschnitt durch eine sehr junge Infloreseenz (3. VII. 1915).
» 4*a*. lospräparierte Deckblätter, in ihren Achseln die Anlagen der Dichasien.
» 5. Längsschnitt durch eine Infloreseenz vom 11. X. 1915.
» 5*a*. 2 von der Spindel losgelöste Dichasien.
» 6. Querschnitt durch ein etwas älteres Dichasium.
» 7. Radialschnitt durch eine Blütenanlage, die Einsenkung an ihrem Scheitel zeigend.
» 8. Querschnitte „ » » ; der oberste Schnitt (3) trifft nur mehr die beiden Narbenanlagen.
» 9. Tangentialschnitt durch eine Blütenanlage; Erhebung der Narben.
» 10. Querschnitte durch eine Blüte, die nicht gezeichneten Schnitte sind mitgezählt!
» 11. » » » etwas ältere Blüte, die nicht gezeichneten Schnitte sind mitgezählt!
» 12. Teil eines Tangentialabschnittes, stark vergrößert; Andeutung des Gefäßbündels.
» 13. 4 aufeinanderfolgende Querschnitte; meristematische Zellen stark ausgezogen.
» 14. Querschnittserie durch einen jungen Fruchtknoten; die meristematische Anlage der Placenta schraffiert.
» 15. Teil eines Querschnittes, die Weiterentwicklung der äußeren Placenta zeigend.
» 16. Tangentialschnitt, der Linie *a*........*b* in Fig. 14_9 entsprechend.
» 17*a* und *b*. Tangentialschnitte; 17*a* = dem Deckblatt näher gelegener Schnitt; Placenta durch Schraffierung angedeutet.
» 18. Serie von Querschnitten durch einen Fruchtknoten mit gelappter wandständiger Placenta.
» 19. Radialschnitte; 1 = durch die Mitte der Blüte gehender Schnitt.
» 20. Querschnitt; Entstehung der zentralen Scheidewand.
» 21. Tangentialschnitt durch einen Fruchtknoten; Anlage der Ovula.
» 22. Mittlerer Teil eines Tangentialabschnittes durch einen älteren Fruchtknoten.
» 23. Querschnittserie; Fruchtknoten am Grunde schon 2fächerig.
» 24. Querschnitt; Entstehung des Integumentes.
» 25. » ; meristematischer Rest an der inneren Wand des Fruchtknotens.
» 26. » durch einen Fruchtknoten oberhalb der Ovula; Ausbildung des Füllgewebes.
» 27*a* und *b*. Querschnitt durch einen Fruchtknoten; noch höher oben als Fig. 26.
» 28*a* und *b*. 2 Querschnitte durch den Griffelteil eines Fruchtknotens von *Betula papyrifera*; 28*a* tiefer unten als 28*b*.
» 29*a* und *b* Querschnitte; Verschluß der Fruchtknotenhöhle durch das Füllgewebe.
» 30. Querschnitt durch den seitlichen Rand eines Fruchtknotens, an dem eben die Bildung der Flügel beginnt.
» 31. Flügel einer fast reifen Frucht im Querschnitt.
» 32. Querschnitte durch verschiedene Dichasien; Form der Blütenanlagen!
» 33. » » Fruchtknoten mit gekreuzt stehenden Samenanlagen.
» 33*a*. Fruchtknoten mit 2 Ovulis in einem Fach.
» 34*a*. Querschnitt; 2 gekreuzt stehende Ovula als meristematische Höcker angelegt.
» 34*b*. » ; außer den 2 Ovulis an der äußeren Placenta eines an der inneren Placenta angelegt.



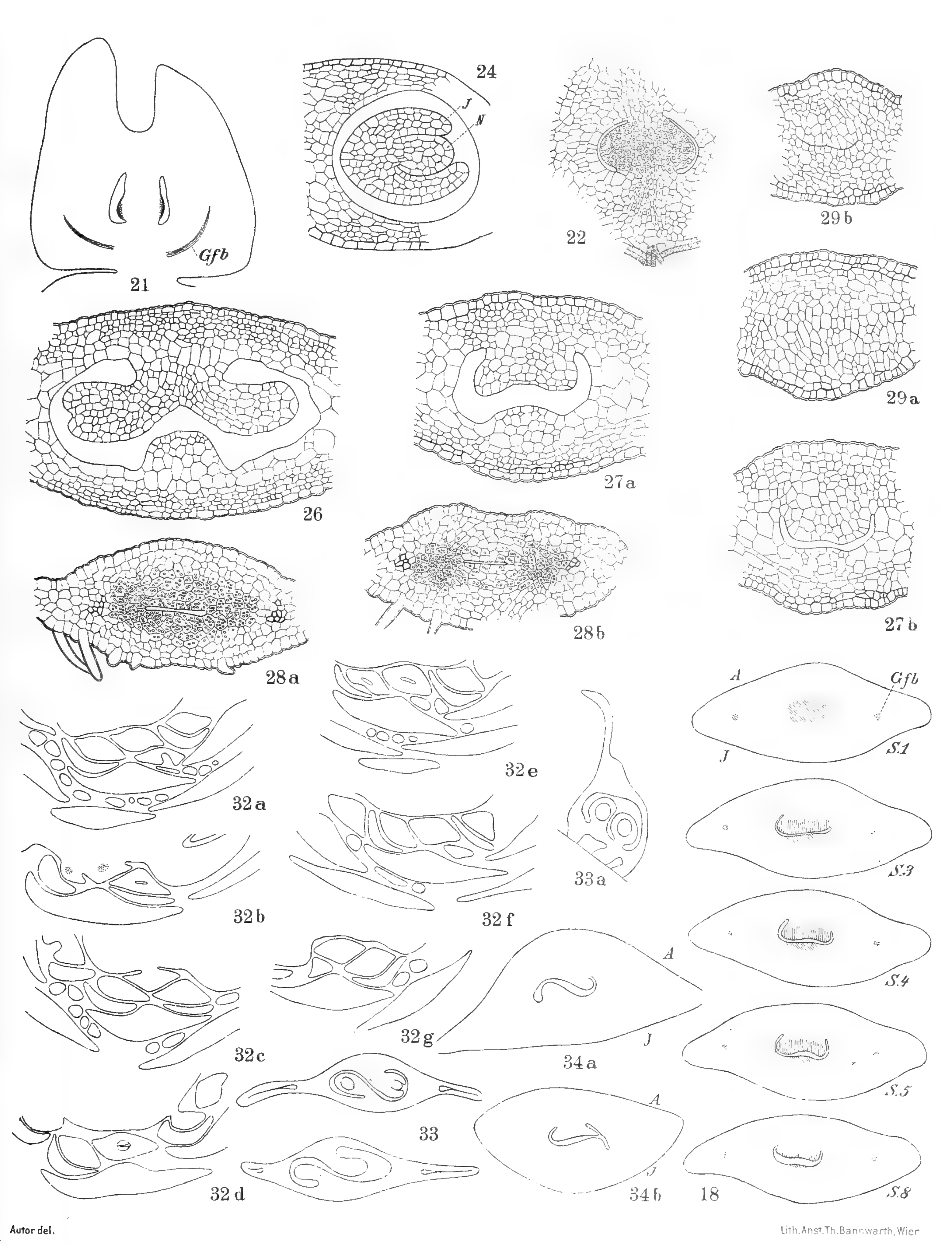
Autor del.

Lith. Anst. Th. Bannwarth, Wien



Autor del.

Lith. Anst. Th. Bannwarth, Wien.



Autor del.

Lith.Anst.Th.Bannwarth,Wien

PETROGRAPHISCHE BEOBACHTUNGEN AN DEN VON F. v. KERNER GESAMMELTEN GESTEINEN AUS NORDOSTALBANIEN

ERGEBNISSE DER IM AUFTRAGE DER KAISERLICHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN IM SOMMER 1916 UNTERNOMMENEN GEOLOGISCHEN FORSCHUNGSREISE NACH ALBANIEN

VON

F. BECKE

W. M. K. AKAD.

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 13. DEZEMBER 1917.

Eine Auswahl der von F. v. Kerner aus Nordostalbanien mitgebrachten Gesteine wurde in Dünnschliffen untersucht, die gewonnenen Ergebnisse sind hier zusammengestellt.

Der größte Teil der Proben entstammt dem großen Peridotitmassiv, welches v. Kerner im Südosten des Valbonatales nachgewiesen hat. Peridotite von fast absoluter Frische, begleitet von Halb- und Vollserpentinen, Pyroxenite, zum Teil sehr grobkörnig, pegmatitähnlich, endlich feldspathältige Gesteine (Gabbro. Norit, Diorit) setzen dieses Massiv zusammen. Der Peridotit herrscht weitaus vor; an wenigen Stellen nachgewiesene Chromitschlieren erhöhen die Mannigfaltigkeit.

Eine zweite Gruppe umfaßt die kleineren Serpentinmassen im Bereich der Schiefer-Hornsteinformation. Innerhalb dieser treten Grünschiefer auf, von denen eine kleine Anzahl untersucht wurde.

An die Besprechung der Einzelvorkommen schließen sich einige allgemeine Bemerkungen, den Vergleich mit Nachbargebieten, die Gauverwandtschaft der Gesteine, die Umwandlungsvorgänge betreffend.

A. Gesteine des Peridotitmassivs.

I. Peridotit und Serpentin.

Peridotit aus der Gegend von Lužs.

Aus dem Bereich der Talnische von Lužs lagen mir die frischesten Proben des herrschenden Peridotitgesteines vor, welche in der Beschreibung vorangestellt werden sollen. Eine Probe kann als Typus des frischen, möglichst unveränderten Peridotites gelten. Sie trägt die Fundortbezeichnung:

Harzburgit Lužs West.

(Dünnschliff Nr. 2971.)[1] Vergl. geolog. Bericht p. 30.

Das Handstück zeigt ein lichtgrünes, graugrün geflecktes, mittelkörniges Gestein mit schwacher Andeutung von Parallelstruktur. Das spezifische Gewicht ist 3·215.

[1] Die angeführte Nummer verweist auf die Dünnschliffsammlung im mineralogisch-petrographischen Institut der Universität

Als Gemengteile erweisen sich Olivin, Bronzit, Picotit. Olivin in 2 bis 3 *mm* großen Körnern waltet stark vor; Bronzit (die dunkleren graugrünen Flecken) bildet etwa $^1/_4$ bis $^1/_3$ der Masse. Picotit, mit freiem Auge nur hie und da als pechschwarzes Korn sichtbar, tritt sehr zurück.

Keines der Minerale tritt in Krystallform auf; alle bilden ganz unregelmäßig gestaltete Körner; die des Bronzit sind besonders regellos geformt und umschließen öfter kleinere Olivinkörner; aber auch das umgekehrte kommt vor.

Der Olivin erscheint vollkommen farblos, der Bronzit zeigt doch die Andeutung eines grünlichen Farbentons.

Der Olivin erweist sich in Schliffen mit Achsenaustritt $\pm$; die Isogyre erscheint in Diagonalstellung fast geradegestreckt. Hieraus ist auf einen Gehalt von zirka 12 Prozent Fayalitsilikat zu schließen.[1] Der Olivin zeigt in vielen Durchschnitten die Erscheinung, welche am Olivinfels aus dem Stubachtale beschrieben wurde.[2] Die Durchschnitte löschen nicht einheitlich aus und zerfallen in längliche Felder, die ungefähr in der Richtung der Auslöschungsrichtung α' gegeneinander abgegrenzt sind. Es liegt also ein Zerfall in Platten ungefähr parallel der Querfläche (100) vor, eine kataklastische Erscheinung, welche im Aussehen und wohl auch im Wesen mit dem kataklastischen Zerfall der Quarzdurchschnitte in Streifen ungefähr parallel der Hauptachse verwandt ist. In der Mehrzahl der Olivindurchschnitte liegen diese Trennungsflächen ungefähr parallel und hiedurch wird eine rohe Andeutung von Parallelstruktur, eine Gefügeregel, hervorgebracht, die schon im Handstück zu bemerken ist. Die Olivine enthalten nicht selten 0·01 bis 0·02 *mm* große Flüssigkeitseinschlüsse, meist mit kleiner, dunkelumrandeter Libelle. Sie sind flächenweise angeordnet und bieten ein ähnliches Bild wie die Ketten von Flüssigkeitseinschlüssen der Granitquarze.

Der Bronzit zeigt schwächere Doppelbrechung als der Olivin ($\gamma - \alpha = 0{\cdot}010$ an einem Schnitt annähernd senkrecht β); $2V$ nahe 90°, Charakter der Doppelbrechung $\pm$ nach der geraden Erstreckung der Isogyre in Diagonalstellung. Hienach ist der Gehalt an Eisensilikat etwa 16 Mol. Proz.[3]

Schnitte nach (010) fallen auf durch die Einschaltung scharf begrenzter, ungemein dünner Lamellen (schmäler als 1 μ) parallel der c-Achse des Wirtes. Bei Dunkelstellung des Bronzit leuchten sie auf, ohne Nicol sind sie nicht wahrnehmbar. Manche verlöschen nach Drehung um 13 bis 15°, andere nach Drehung um 40°. In Querschnitten des Bronzit, welche an dem rechtwinkligen Spaltnetz noch (110) kenntlich sind, in denen ferner auch einzelne Spaltrisse nach (100) und (010) auftreten, sind diese Einlagerungen ebenfalls zu sehen, aber sie erscheinen kürzer, bis etwa 0·05 *mm*. In Schnitten nach (100) sind sie gänzlich unsichtbar. In schiefen Schnitten bieten sie verwaschene Ränder dar.

Augenscheinlich handelt es sich um perthitische Einlagerungen von monoklinem Pyroxen und von Hornblende parallel (100) des Bronzit von der Gestalt schmaler, in der Richtung der *c*-Achse gestreckter Lineale.

Der seltene Picolit bildet spärliche, dunkelbraun durchscheinende Schnitte, die in seltenen Fällen Oktaederform andeuten, meist aber ganz unregelmäßig zackige Formen haben.

Als Neubildungen treten auf: Im Olivin 0·01 bis 0·02 *mm* breite, deutlich grüne Serpentinadern, die die Durchschnitte wie ein Netzwerk durchziehen. Sie sind querfaserig und haben Auslöschungsrichtung α in der Faserrichtung. Manchmal ziehen ganz ähnliche, schmale Serpentinadern auch in die Randpartien der Bronzitdurchschnitte hinein. Doch sind dort häufiger Talkschüppchen, besonders an den Rändern der Durchschnitte, zu bemerken.

---

[1] M. Stark, Zusammenhang des Winkels der optischen Achsen mit dem Verhältnis von Forsterit und Fayalitsilikat beim Olivin. Min. petr. Mitt., *23*, 451, 1904.

[2] F. Becke, Min. petr. Mitt., *14*, 274, 1894.

[3] F. Mrha, Beitrag zur Kenntnis des Kelyphit. Anhang. Min. petr. Mitt., *19*, 149, 1899.

Das vorliegende Gestein ist ein typischer Harzburgit (Rosenbusch). Wie bei anderen Vorkommnissen dieser Gesteinsart ist eine ausgesprochene Krystallisationsfolge kaum nachweisbar, da keiner der Gemengsteile deutliche Krystallformen zeigt. Nur gelegentlich zeigt Pirotit Oktaederform und die Gestalten der Bronzitdurchschnitte sind noch unregelmäßiger als die der Olivinkörner, so daß man allenfalls die Reihenfolge Picotit-Olivin-Bronzit annehmbar finden könnte. Aber eigentlich ist die Struktur allotriomorph körnig. Eine schwache Andeutung von Paralleltextur durch Parallelstellung der längeren Durchmesser der Körner ist im Handstück bemerkbar.

Bei anderen Proben bedingt das Auftreten größerer Bronzitkörner eine äußere Ähnlichkeit mit Porphyrstruktur, namentlich wenn im Fortschreiten der Umwandlung der Olivin weitgehend in kleine Körner zersprengt ist, oder dichter Serpentin eine Grundmasse vortäuscht. Diese Struktur ist aber von echter Porphyrstruktur weit verschieden.

Dunit mit reichlichem Chromitgehalt.

Westfuß der Kodra Lužs (Dünnschliff Nr. 2972). Vgl. geologischer Bericht, p. 30.

Östlich von Lužs erhebt sich die Bergkuppe Kodra Lužs bis zur Höhe von 1250 *m*; an ihrem Westfuße sammelte F. v. Kerner dort, wo die vom Ostrande der Konglomeratdecke des mittleren Valbonatales ansteigenden Hänge ihre Neigung gegen SW mit einer solchen gegen WNW vertauschen, eine durch schlierige Anreicherungen von Chromit ausgezeichnete Abart des Peridotites in anstehenden Felspartien.

Das gelblich anwitfernde Gestein ist dunkel gefleckt durch linsenförmige körnige Chromit-Schlieren, die etwa 3 bis 5 *mm* mächtig und 1 bis 2 *cm* lang sind. Parallelstruktur ist dadurch schwach angedeutet. Sie machen etwa die Hälfte der Gesteinsmasse aus. Das spezifische Gewicht des Gesteines ist 3·552.

Im Schliff erscheint der Chromspinell braun durchsichtig, die Farbe wird gegen den Rand der Durchschnitte und längs durchsetzenden feinen Haarrissen schwarzbraun und undurchsichtig in fast unmerklichem Übergang. Auf Klüftchen ist Serpentin eingedrungen, faserig quer zur Erstreckung der Klüftchen, α in der Richtung der Fasern. In den am tiefsten eingedrungenen Sprüngen hat sich ziemlich spärlich Klinochlor in farblosen Schuppen angesiedelt.

Der umgebende Olivin erweist sich zur Hälfte serpentinisiert. Das Geäder besteht aus querfaserigem Serpentin mit α in der Faserrichtung. Bisweilen sind auch die Felder innerhalb der Maschen des Serpentinnetzes in Serpentinsubstanz umgewandelt. Hier treten oft isotrope, bräunlich trübe Verwitterungsprodukte auf, die genauer zu klassifizieren auf optischem Wege nicht möglich ist. Bronzit ist in dieser Probe nur wenig vorhanden.

In den losen Massen des Talgrundes fand v. Kerner[1] Brocken von derbem Chromerz von mittelkörniger Textur. Eine etwa kinderfaustgroße Probe im Gewicht von 390 *gr* zeigt ziemlich reinen Chromit vom spezif. Gewicht 4·248, halbmetallischem Glanz und schwarzbrauner Farbe.

Harzburgit (Halbserpentin).

Westfuß des Kodra Lužs (Dünnschliff 2974). Vgl. geologischer Bericht p. 30.

Von demselben Fundort stammt ein Handstück eines schwärzlichgrünen Gesteins mit unebenem glitzerndem Bruch. In der dunklen Hauptmasse leuchten, ungefähr ein Viertel der Oberfläche einnehmend, 3 bis 4 *mm* große Spaltflächen von Bronzit auf.

Im Dünnschliff erscheinen als Hauptgemengteile: Olivin ungefähr zur Hälfte in der hinlänglich bekannten Art durch grünen Serpentin ersetzt. Die Mittellinien der Serpentinschnüre sind hier häufig

[1] Vgl. den geolog. Bericht p. =.

durch Magnetitkörnchen und Flitter bezeichnet. Der Serpentin ist querfaserig mit α in der Faserrichtung; er fällt durch niedere Doppelbrechung und bläulichweiße Interferenzfarbe auf. Der Olivin erweist sehr schwach negativen Charakter der Doppelbrechung, $2\,V\alpha = 90°$, $\gamma - \alpha = 0 \cdot 036$, ist also kaum merklich eisenreicher als jener von Nr. 2971.

Die Korngröße des Olivin ist beträchtlicher als man nach der Beobachtung mit freiem Auge am Handstück erwarten würde (bis 3 *mm*). Es finden sich aber auch kleine Körner bis 0·01 *mm*, jedoch viel spärlicher. Krystallform ist nicht zu sehen.

Der Bronzit bildet ungefähr ebenso große, meist sehr unregelmäßig gestaltete Körner. Er erscheint hier merklich graugrün gefärbt. $2\,V$ ist nahe 90°; $\gamma - \alpha = 0 \cdot 0108$. Sehr spärlich findet sich auch monokliner Pyroxen in unregelmäßigen mit Bronzit verwachsenen Körnern. Die perthitischen Einlagerungen von monoklinem Pyroxen im Bronzit sind auch hier vorhanden; ihre Dicke sinkt bis zu submikroskopischen Dimensionen unter 1 μ herab.

Randlich finden sich Neubildungen von strahlsteinartiger Hornblende, ferner häufig Talkschüppchen; manchmal ziehen sie sich auf Klüftchen in das Innere der Bronzitdurchschnitte.

Harzburgit mit nephritartigem Strahlstein.

Bach Kodra Lužs West (Dünnschliff 2973). Vgl. geolog. Bericht p. 30.

Dieses Gestein zeigt das Harzburgit-Gemenge in einer abweichenden Umwandlung begriffen und verdient deshalb eine besondere Erwähnung. Leider ist über den Verband dieser Abart mit dem Peridotit und sein Verhältnis zu dem normalen Maschen-Serpentin nichts bekannt, da es sich um Bruchstücke auf sekundärer Lagerstätte handelt.

Für das unbewaffnete Auge bietet das Handstück das Bild eines sehr feinkörnigen dunkelgraugrünen Gesteins. Es bricht ziemlich scharfkantig und ist ziemlich hart.

Im Dünnschliff erweisen sich als Hauptgemengteile:

Olivin, feinkörnig (1 *mm* Korngröße) stark zersprungen, auf den Klüftchen hat sich viel Magnetit neugebildet. Serpentin ist nicht viel entstanden. Die Kornreste des Olivin in den Maschen des Serpentinnetzwerkes fallen durch sehr bedeutende Abschwächung der Doppelbrechung von der Mitte zum Rande auf. Es handelt sich dabei nicht etwa um eine primäre Zonenstruktur der ursprünglichen Olivinkrystalloide, sondern jeder von Serpentinhüllen umgebene Brocken des einstigen Individuums zeigt von seiner Mitte zum Rande allmählich abnehmende Doppelbrechung. In einem senkrecht zu β orientierten Durchschnitt wurde gefunden $\gamma - \alpha = 0 \cdot 040$ in der Mitte bis 0·028 am Rande. In der Lichtbrechung ist kein Unterschied wahrzunehmen.

Spärlich tritt Chromit auf in kleinen, wenig durchsichtigen Körnern.

Statt des Bronzit finden sich nur Pseudomorphosen, welche aus einem farblosen Hornblendemineral mit den Eigenschaften des Strahlsteins bestehen. Schiefe Auslöschung, negativer Charakter der Doppelbrechung, großer Achsenwinkel unmerkliche Färbung wurden beobachtet.

Nur zum Teil ist diese neugebildete Hornblende homoachs zur Bronzitform gelagert. Der größte Teil erscheint in büscheligen oder wirrstängeligen Aggregaten, die von den Pseudomorphosen aus das Gestein durchziehen und die serpentinartigen Neubildungen bei weitem überwiegen. Das Aussehen dieser Aggregate erinnert sehr an Nephrit.

Harzburgit (Halbserpentin).

Čafa Skols (Dünnschliff Nr. 2988). Vgl. geologischen Bericht p. 34.

Dieses schwärzlichgrüne Gestein mit glitzernden Bruchflächen enthält 3 bis 4 *mm* große Körner, die sich in der Farbe wenig abheben, aber durch den metallähnlichen Perlmutterglanz der Spaltflächen bemerkbar werden (Bronzit). Sie machen etwa $^1/_4$ bis $^1/_5$ der Masse aus.

Die Beschreibung dieses Gesteins würde ziemlich genau eine Wiederholung der vorigen sein. Der Olivin, von dem etwa die Hälfte noch erhalten ist, steht nach Doppelbrechung und Streckung der Isogyre in Diagonalstellung an der Grenze von + und —. Hie und da erkennt man an den Resten die p. 2 [370] beschriebene kataklastische Absonderung nach (100). Der Bronzit bildet häufig etwas größere Körner als der Olivin und tritt gern in Gruppen von 3 bis 4 Individuen auf. Es kommen aber auch sehr kleine Individuen vor. Er erweist sich als schwach +, $2V\gamma \gtreqless 90°$. Schnitte nach (010) zeigen die perthitischen Lamellen, die auch hier die Auslöschungsschiefe des monoklinen Pyroxen zeigen, von 0·01 *mm* bis herab zu kaum merklicher Dünne. Selten (in einem Dünnschliff von etwa 2 cm^2 Fläche nur 3 bis 4 Durchschnitte) kommt auch monokliner Pyroxen vor. Beide Pyroxene sind sehr blaß und in der Färbung vom Olivin nicht unterscheidbar.

Picotit ist sehr spärlich, macht nur etwa $^1/_{10}$ eines Volumprozents aus. Magnetitkörnchen finden sich sparsam an den Rändern der Olivinkörner.

An der Grenze der Pyroxene tritt öfter farblose Hornblende auf, die die Neigung zeigt, zu divergent strahligen oder faserigen Bündeln auszuwachsen. Ferner findet sich hier öfter Talk in Schüppchen, die immerhin einige Hundertstel *mm* erreichen; sie sind gut erkennbar an der glimmerähnlichen Spaltung, der geringeren Lichtbrechung, der starken Doppelbrechung und den perlmutterartigen Interferenzfarben.

Nur ab und zu greift auch Serpentin in die Pyroxene ein, und zwar in zweierlei Form:

1. Selten sieht man auf Klüften (meist auf Querklüften) vom benachbarten Olivin her in Form von Adern Serpentin eindringen, der dieselbe Orientierung und Doppelbrechung hat wie im Olivinserpentin; die Polarisationsfarben sind bläulich weiß, $\gamma - \alpha = 0·004$ an den Stellen mit größtem Gangunterschied.

2. Etwas häufiger tritt er pseudomorph nach Bronzit auf. Die homoachsen Fasern sind positiv in der Richtung der c-Achse des Bronzit. Dies ist also der Bastitserpentin. In Lichtbrechung und Farbe ist er dem Olivinserpentin gleich; über Stärke der Doppelbrechung kann hier wegen der Seltenheit der Durchschnitte nicht geurteilt werden. (In günstigeren Beispielen erweist er sich stärker doppelbrechend als der Olivinserpentin.)

Harzburgit-Serpentin.

Vollserpentine, die von den ursprünglichen Gemengteilen nur spärliche Reste oder nur Pseudomorphosen zeigen, lagen mir von mehreren Fundorten vor. Genauer untersucht wurden folgende Stücke:

Harzburgit-Serpentin mit Chrysotiladern.

von Bitüči Ost (Dünnschliff Nr. 2976). Siehe geologischer Bericht p. 33 Schluß.

Das Handstück zeigt matt schwärzgrünen Serpentin von mehr oder weniger parallelen Chrysotiladern durchzogen.

Unter dem Mikroskop zeigen sich in dem von Magnetitkörnchen reichlich durchsetzten Serpentin Stellen, die die typischen Maschenstruktur erkennen lassen mit Querfaserung der Netzbalken und α in der Längsrichtung der Fasern. Große Teile der Felder zwischen diesem Netz erscheinen isotrop. Viele Partien zeigen aber parallelfaserige Serpentin-Aggregate mit γ in der Längsrichtung der Fasern; das sind homoaxe Pseudomorphosen von Serpentin nach Bronzit—Bastit. In Farbe und Lichtbrechung ist kein merklicher Unterschied gegen den Maschenserpentin aus Olivin.

Der Schliff ist von zahlreichen ungefähr parallelen Chrysotiladern durchzogen. Diese zeigen das bekannte, an ein Moiréband erinnernde Bild mit quer zur Richtung der Bänder verlaufenden Faserung. Die Lichtbrechung γ entspricht der Richtung der Faserung. Bei Einstellung dieser Schwingungsrichtung ist kein merklicher Unterschied in der Lichtbrechung gegen den Serpentin erkennbar, dagegen erweist

sich die Schwingungsrichtung α niedriger als die Lichtbrechung des umgebenden Serpentins, die Doppelbrechung des Chrysotils merklich höher (vgl. die zahlenmäßigen Angaben p. 14 [382]). Die Chrysotiladern sind vollkommen frei von Magnetit-Ausscheidungen.

Hier ist auch einzureihen

Harzburgit-Serpentin

von Čafa Prousit (Dünnschliff Nr. 2982 und 2983). Vgl. geologischer Bericht p. 36.

Es ist ein dunkelschwarzgrüner Serpentin von mattem Glanz mit $^1/_2$ bis 1 *cm* großen Bastittafeln, die ungefähr $^1/_4$ der Schliffläche einnehmen. Der Maschenserpentin mit dem querfaserigen Netzwerk und α in der Faserrichtung und den pseudoisotropen Feldern dazwischen ist dem vorigen Gestein ganz ähnlich. Die Bastitschnitte zeigen hier stärkere Doppelbrechung als der Serpentin des Netzwerkes und sind überhaupt etwas komplizierter gebaut. An den Rändern und stellenweise auch im Innern der Pseudomorphosen nach Bronzit treten Serpentin-Aggregate auf, welche von derselben Stärke der Doppelbrechung zu sein scheinen als die homoachse Bastitpartie. Neben unregelmäßig schuppig erscheinenden Aggregaten kommen auch solche vor, bei denen die γ-Richtung senkrecht zur c-Achse der Pseudomorphosen liegt. In den Adern des Maschenserpentins ist in mäßiger Menge feinkörniger Magnetit abgeschieden. Die parallelfaserigen Bastitdurchschnitte sind durch bräunliche Infiltrationen heimgesucht.

Nach Picotit wurde vergeblich gesucht.

Schliff 2983 desselben Vorkommens zeigt das Gestein durchsetzt von zahlreichen Chrysotiladern. Sie verhalten sich genau so wie im Gestein von Ost-Bitüci (2976).

II. Pyroxenit.

Mit dem vorherrschenden Olivinfels und Serpentin treten in dem von v. Kerner bereisten Gebiet Pyroxenite auf, die augenscheinlich etwas verschiedene Art des Auftretens besitzen. Der geologische Bericht zeigt, daß an manchen Stellen Pyroxenitgänge auftreten. Taf. II, Fig. X werden sogar sich gabelnde Gänge abgebildet, so daß an der Gangnatur derartiger Vorkommen nicht gezweifelt werden kann. In anderen Fällen scheinen pyroxenitische Gemenge als schlierige Ausscheidungen aufzutreten, was namentlich durch die Bemerkung des Beobachters nahe gelegt wird, wo er beschreibt, wie die durch überragende Größe und die glänzenden Spaltflächen hervorstehenden Pyroxene im Gestein sich allmählich anreichern und schließlich zu einem grobkörnigen Pyroxenfels zusammentreten. Aus den zur Untersuchung vorliegenden Proben läßt sich entnehmen, daß die vorkommenden Pyroxenfelse in ihrem Aussehen immerhin einigermaßen variieren, ohne daß sich aber entscheiden ließe, ob bestimmte Typen gangförmig, andere in der Art schlieriger Ausscheidungen auftreten.

Gemeinsam ist aber allen mitgebrachten Proben das grobe bis sehr grobe Korn, das diesen untergeordneten Abänderungen zukommt, sowie der Mangel deutlicher Krystallformen. In beiden Beziehungen gemahnen diese Abarten des Gesteins an die grobkörnigen Pegmatite der Granitstöcke, mit denen sie vielleicht auch in genetischer Beziehung eine gewisse Verwandtschaft bekunden.

Von Suka Pjanit (Geol. Ber., p. 29). Dünnschliff Nr. 2985, und von Bitüči Ost (Geol. Ber., p. 33) lagen mir große derbe Spaltstücke von Bronzit vor, die lichtgraugrüne, schon an Enstatit erinnernde Farbe haben. Submikroskopische Einschaltungen von monoklinem Pyroxen treten im Schliff reichlich hervor, mit freiem Auge bemerkt man sparsam eingelagert glasglänzende Spaltflächen mit dem Hornblendewinkel von etwas dunkler grüner Farbe.

Von Bitüči (Geol. Ber. p.)33stammen sehr grobkörnige Aggregate wallnußgroßer Diallag-Individuen. Die Farbe ist entschiedener ins grün geneigt als beim Bronzit. Der Perlmutterglanz der Absonderung nach (100) ist sehr auffallend. Leicht gelingt es dünne Platten nach dieser Fläche abzuheben, die im Konoskop bei richtiger Einstellung in der Symmetrieebene nach oben zu den Austritt der Achse A zeigen. Die Winkel der Achse mit der Normalen von (100) wurde mit 21° gemessen. Dem entspricht ein scheinbarer

Winkel von $37^1/_2°$, der von Tschermak mit *u* bezeichnet wurde. Dieser Winkel ist 38° 14′ beim Diopsid von Ala und wurde von Tschermak bei verschiedenen Diallagen wechselnd von 27 bis 50° gefunden.[1] Der vorliegende Diallag scheint somit dem reinen Diopsid recht nahe zu stehen. Dies ergibt auch die Untersuchung an dem folgenden Gestein.

Pyroxenit

von Bitüči Ost (Dünnschliff Nr. 2975). Vgl. geologischen Bericht p. 33.

Ein Handstück zeigt ziemlich grobkörnige Textur; Korngröße bis über 1 *cm*. Die Farbe ist im ganzen graugrün, man kann aber dreierlei Gemengteile mit freiem Auge unterscheiden. Vorwaltend sind graugrüne gedrungene Stengel von Bronzit; spärlicher sind kleinere, lebhaft grasgrüne Körner eines monoklinen Pyroxens, beide mit unvollkommener prismatischer Spaltbarkeit. Endlich treten sparsam vollkommen spaltbare dunkelgrüne Körner von Hornblende mit lebhaft glasglänzenden Spaltflächen auf; sie sind völlig allotriomorph und umschließen poikilitisch die beiden anderen Gemengteile.

Unter dem Mikroskop zeigt sich, daß der Bronzit vorherrscht; er bildet mehr als die Hälfte de Durchschnitte, die des öfteren, namentlich dort, wo sie an Hornblende grenzen, Andeutung von Krystallendigungen zeigen, auch vom monoklinen Pyroxen ganz umschlossen vorkommen. Sie sind von bemerkenswerter Reinheit und enthalten außer den sehr feinen Lamellen von monoklinem Pyroxen und Hornblende wenig Verunreinigungen. In Schnitten mit Achsenaustritt zeigt sich schwach negativer Charakter der Doppelbrechung. An einem Durchschnitt senkrecht zu α wurde $\gamma-\beta = 0\cdot0049$, an einem anderen senkrecht zu γ wurde $\beta-\alpha = 0\cdot0057$ gemessen.

Dies ist in Übereinstimmung mit dem optischen Charakter, wie er aus der Hyperbelkrümmung erschlossen wurde. Direkte Messung von $\gamma-\alpha$ an einem Schnitt senkrecht β gab $0\cdot011$ in recht guter Übereinstimmung. Aus den Verzögerungen folgt ein ungefährer Wert für $2V\alpha = 86°$ und hieraus ein Gehalt von $FeSiO_3$ von etwa 20 Mol. Proc. Pleochroismus ist nicht wahrnehmbar.

Der monokline Pyroxen bietet unter dem Mikroskop die Merkmale von Diallag. Durch eine viel größere Zahl von Einschlüssen verschiedener Art ist er vom Bronzit schon ohne Anwendung des polarisierten Lichtes leicht zu trennen. Seine Menge ist größer als man von freiem Auge vermuten würde. Er umschließt dünne Lamellen von Bronzit, ist von einer Rinde von farbloser Hornblende umwachsen, die in zahlreichen isolierten Partikeln auch ins Innere der Diallagkörner eindringt, die mit dem Diallag nach dem bekannten Gesetz parallel verwachsen sind. Diese Hornblendeflitter erreichen Dimensionen von einigen Hundertsteln Millimetern. Außerdem enthält er in unregelmäßiger Verteilung kleine Magnetitkörnchen (zirka $0\cdot01$ mm^2). An einem ziemlich gut senkrecht β getroffenen Schnitt wurde $c\gamma = 40°$, $\gamma-\alpha = 0\cdot028$ gemessen. Ein anderer Durchschnitt ergab $2V\gamma = 58°$.

Die Lücken zwischen den Pyroxenkörnern werden von einer sehr hellen, klaren, einschlußfreien Hornblende ausgefüllt. Vielfach ist sie parallel orientiert mit dem angrenzenden Diallag, so daß sie gleichzeitig mit den Hornblendeflittern desselben benachbarten Diallagkornes auslöscht. Ausläufer schieben sich zwischen die Pyroxenkörner und verleihen den Hornblendedurchschnitten oft ganz abenteuerliche an Amöbenzeichnungen erinnernde Umrisse.

An der Hornblende wurde bestimmt: $c\gamma = 15\cdot5°$, $2V\alpha = 78°$, $\gamma-\alpha = 0\cdot027$. Das ist die Orientierung des Strahlsteins.

An günstigen Schnitten kann man sich überzeugen, daß die Achsen A von Diallag und der damit parallel verwachsenen Hornblende fast zusammenfallen. In der Tat ist der Winkel

$$cA \text{ Hornblende} = c\gamma + \gamma A = 15\cdot5° + 51° = 66\cdot5°$$
$$cA \text{ Diallag} = c\gamma + \gamma A = 40° + 29° = 69°.$$

An einem Schnitt dieser Art, der die Achsenebene beider Minerale etwas seitwärts austreten ließ, wurde der Winkel der beiden Achsen A von Diallag und Hornblende $= 4°$ gemessen, während die Orien-

[1] Tschermak: Über Pyroxen und Amphibol. Min. Mitt. 1871, p. 22, 27.

tierung $2^1/_2$° verlangt. Der Winkel cA für Diallag stimmt sehr gut zu dem Winkel $100.A = 21°$, der an dem Diallag von Bitüči gemessen wurde.

Die Hornblende hat trotz ihres dunkelgrünen Aussehens im Handstück im Dünnschliff sehr lichte Farbe; Pleochroismus ist kaum wahrnehmbar.

Die Erscheinungen lassen klar erkennen, daß die Hornblende im wesentlichen nach den Pyroxenen zur Krystallisation gelangte und daß sie in einer späteren Phase der Gesteinsverfertigung, und zwar zum Teil auf Kosten des Diallag entstand.

Die Reihenfolge Bronzit-Diallag-Hornblende (Strahlstein) ist im Dünnschliffbild klar ausgesprochen.

Akzessorische Gemengteile (abgesehen von den Magnetitkörnchen im Diallag) fehlen. Von eigentlich sekundären Neubildungen und Umwandlungen ist der Schliff frei.

Olivinführender Pyroxenit,

Godenj, Čafa Prousit. (Dünnschliff Nr. 2986). Vgl. geologischer Bericht p. 36.

Dieses Gestein ist mittel- bis feinkörnig, schwärzlich-grün; in der Verwitterungsrinde treten die rhombischen Pyroxene mit auffallendem Bronzeglanz hervor, während andere an Menge zurücktretende Körnchen glanzlos schwarz aussehen und als kleine Knötchen hervorragen.

Das Mikroskop zeigt ein körniges Gemenge von vorwaltendem rhombischen Pyroxen, der noch am meisten Andeutungen von Krystallform zeigt, aus einer beträchtlichen Menge von Körnern monoklinen Pyroxens, zum Teil Zwillingen nach (100) und aus einer noch kleineren Anzahl von Olivinkörnern, die sehr unregelmäßige Formen als Lückenbüßer annehmen und öfter in Gruppen von einigen Individuen versammelt sind.

Der Olivin ist sehr frisch, von Sprüngen netzförmig durchzogen, auf denen sich Magnetit angesiedelt hat. Serpentinbildung hat kaum begonnen. Der Charakter der Doppelbrechung ist schwach negativ.

Der rhombische Pyroxen zeigt die Eigenschaften von Bronzit, $2Va = 87°$ aus mehreren Beobachtungen abgeleitet (18% $FeSiO_3$). Wie immer sehen seine Durchschnitte recht verschieden aus je nach der Schnittrichtung. Schnitte (010) zeigen die zarten Lamellen von monoklinem Pyroxen nach (100) eingeschaltet, oft von submikroskopischer Breite. Auch in den Querschnitten sind sie zu sehen, wiewohl schwieriger, da sie hier wegen der Achsennähe niedrige Interferenzfarben haben. Schnitte nach (100) lassen sie nicht erkennen. Hier erscheint der Bronzit homogen ohne es in Wahrheit zu sein. Pleochroismus ist kaum erkennbar.

Der monokline Pyroxen zeigt gleichfalls in den Schnitten (010) zarte Lamellen parallel (100) eingelagert, die bei Dunkelstellung hell bleiben. $c\gamma = 39°$, $\gamma - \alpha = 0 \cdot 028$, $2V\gamma = 56°$. Aus Beobachtungen in einem Achsenschnitt ergibt sich $\gamma - \alpha = 0 \cdot 029$ in guter Übereinstimmung. Dispersion der Achsen ist im Dünnschliffpräparat ganz unmerklich.

Das Gestein erweist sich in der Hauptmasse als bemerkenswert frisch; doch ist der Schliff von einem mehrere Millimeter breiten Streifen durchzogen, innerhalb dessen auffallende Veränderungen einsetzen. Vor allem ist hier reichlich blaßgrün gefärbte Hornblende entwickelt. Sie tritt nicht in Krystallform auf, sondern in sehr unregelmäßig gestalteten ineinander verschränkten Individuen, die intensiv und ziemlich unregelmäßig und absätzig nach (100) verzwillingt sind. Die Hornblende ist sehr blass gefärbt, Pleochroismus kaum wahrnehmbar; die optischen Charaktere sind die von gemeiner Hornblende: $c\gamma = 15°$, $2V\alpha = 87°$, $\gamma - \alpha = 0 \cdot 024$.

Der Hornblende reiche Streifen ist von dem frischen unveränderten Pyroxenit nicht scharf getrennt. Der Übergang erfolgt so, daß an den dem Hornblendeaggregat benachbarten Teilen besonders der monokline Pyroxen, aber auch Bronzit und Olivin teilweise in Hornblende umgewandelt sind. Die Pseudomorphosen nach monoklinem Pyroxen sind homoachs, aber dieHornblende ist nicht feinfaserig wie bei Uralit, sondern ziemlich kompakt.

In diesem Gesteinsstreifen ist Magneteisenerz zum Teil in deutlichen Oktaederchen von $0 \cdot 02$ bis $0 \cdot 03$ *mm* Kantenlänge häufig.

In demselben Streifen und von da auch außerhalb desselben allmählich abklingend, ist an den Rändern der Pyroxendurchschnitte häufig Talk gebildet worden. Olivinkörner, die im Bereich dieses Streifens liegen oder an ihn angrenzen, zeigen gelegentlich allerhand Neubildungen: Eines farblos, serpentinähnlich, zum Teil nach Art des gewöhnlichen Aderserpentins, zum Teil in wirrschuppigen Nestern von kleinen, antigoritähnlichen winzigen Schüppchen mit sehr schwacher Doppelbrechung und übernormalen Interferenzfarben.[1] Ein zweites Mineral, das nesterweise neben Olivin vorkommt, bildet größere Individuen mit deutlicher glimmerähnlicher Spaltbarkeit mehr von der Gestalt von Körnern als von Schuppen. Die Spaltrisse entsprechen γ, senkrecht dazu liegt α. Pleochroismus in schmutziggrünen Tönen $\gamma > \alpha$; die Auslöschung ist einige Grade gegen die Spaltrisse geneigt. Vielleicht Nontronit.

III. Feldspatgesteine.

Norit, Gabbro, Diorit.

Nur von zwei Stellen des Peridotitgebietes berichtet v. Kerner das Auftreten feldspathaltiger Gesteine: vom Talbecken von Bitüči und von Babai Boks. Beide lieferten nur Rollstücke auf sekundärer Lagerstätte, so daß über die Beziehungen dieser Gesteine zu dem Nebengestein nichts gesagt werden kann. Es ist aber doch in beiden Fällen wahrscheinlich, daß sie dem Peridotitgebiet entstammen und als irgend welche Differentiationsprodukte des Peridotitmagmas anzusehen sind.

Folgende Proben wurden genauer untersucht:

Hypersthen-Gabbro,

Mittel Bitüči (Dünnschliff Nr. 2977). Vgl. geologischer Bericht, p. 33.

Das kleine Handstück erscheint als weiße, spätige Masse von feldspatähnlichem Aussehen, welche zwei Drittel des Gesteins ausmacht, darin liegen 1 bis 2 *cm* große Krystalloide und Körner von dunkelbraungrüner bis schwarzer Farbe. Das spezifische Gewicht ist 2·977. Unter dem Mikroskop erwiesen sich als ursprüngliche Gemengteile Plagioklas, Hypersthen, Diallag, Hornblende, auffallenderweise kein Erz.

Der Plagioklas ist viel gröber körnig als man nach dem Ansehen mit freiem Auge vermuten möchte. Die Korngröße schwankt beträchtlich: kleinere Individuen sind oft zu mehreren in Aggregaten vereinigt. Der Plagioklas entbehrt jeder Andeutung von Krystallform oder von Zonenstruktur. Zwillingslamellierung ist sehr verbreitet, oft in ungemein feiner Ausbildung. Oft sind die Lamellen etwas krumm, selten reichen sie durch den ganzen Durchschnitt. Zwillinge nach dem Karlsbader Gesetz wurden vergeblich gesucht. Öfter finden sich zu der vorherrschenden Lamellierung ungefähr senkrechte Lamellenscharen; aber diese nahezu rechtwinkligen Lamellengitter sind keineswegs die Regel. Häufig schließen die vorwaltenden Lamellen mit scharfen geradlinigen Spaltrissen (augenscheinlich nach *P*) spitze Winkel ein, die bis 19° erreichen können. Schon hieraus ist zu entnehmen, daß die häufigen Zwillingslamellen dem Periklingesetz entsprechen und daß eine ziemlich anorthitreiche Plagioklasmischung vorliegen muß. Dies bestätigt die optische Untersuchung. Der Brechungsexponent ist beträchtlich höher als der von Canadabalsam. Schnitte mit nahezu rechtwinkeligem Lamellengitter geben Auslöschungsschiefen von 30 bis gegen 45° zwischen der Richtung der Zwillingslamellen und der Auslöschungsrichtung α. Schnitte mit Achsenaustritt (Achse *B*) zeigen, daß die Richtung der Zwillingslamellen mit der Ebene der optischen Achsen zirka 30° einschließt, was nur bei Annahme des Periklingesetzes möglich ist (dieser Winkel ist bei Lamellierung nach dem Albitgesetz 60°).

Weitere Beobachtungen lehren, daß der Plagioklas dem Anorthit sehr nahe stehen muß. Der optische Charakter ist nach der Hyperbelkrümmung negativ. In einem derartigen Schnitt wurde ge-

---

[1] Das einzige Gestein, in dem ein dem Antigorit ähnliches Serpentinmineral gebildet wurde.

funden: Winkel der Achsenebenen 58°; Durchschnitt der Achsenebenen erfolgt zwischen Achse B und γ, Winkel der Achsen $BB_{\pi} = 10°$. Für Anorthit Somma wäre dieser Winkel 12°, der Winkel der Achsenebenen 55°.

Der Feldspat ist reichlich von Zersetzungsprodukten erfüllt. Sie erscheinen teils trüb, kryptokrystallin, teils wirrschuppig, teils aus rosettig angeordneten Büscheln von Schüppchen zusammengesetzt; die größeren Schuppen, die bis zu einigen Hundertstel Millimeter erreichen, geben leistenförmige Querschnitte mit glimmerähnlicher Spaltbarkeit; sie löschen merklich schief gegen die Spaltrisse aus, die Lichtbrechung ist merklich höher als die des Kanadabalsams ungefähr gleich der des Feldspates; die Doppelbrechung ist schwach, α' geht in der Richtung der Spaltrisse. Nach diesen Eigenschaften halte ich das Zersetzungsprodukt für Hydrargyllit.

Unter den dunklen Gemengteilen zeigt der rhombische Pyroxen Andeutungen gedrungen säuliger Krystallform. Er hat die optischen Eigenschaften von Hypersthen. Der optische Charakter ist negativ, $2V\alpha = 62°$; $\gamma - \alpha = 0·014$, Pleochroismus wahrnehmbar: α rötlichgelb, β farblos, γ grünlich. Nach der Tabelle von Mrha ist ein Gehalt von 43 Mol. Proz. $FeSiO_3$ anzunehmen.

Die sonst für Hypersthen so charakteristischen dunklen Einschlüsse fehlen: aber die im polarisierten Licht in Schnitten parallel der a-Achse scharf hervortretenden Lamellen von monoklinem Pyroxen sind vorhanden. Auch hier erreichen sie manchmal außerordentliche Feinheit, aber auch dickere bis zu 0·01 bis 0·02 *mm* kommen gelegentlich vor. Auch zeigen die Durchschnitte öfter einen sehr schmalen Außenrand von monoklinem Pyroxen in Schnitten nach (010).

Diallag ist seltener, zeigt in geeigneten Schnitten $c\gamma = 40°$, $2V\gamma = 54°$ und kleiner, $\gamma - \alpha = 0·027$. Seine Durchschnitte lassen öfter Zwillingsbildung nach (100) erkennen. Krystallformen sind außer in Querschnitten, wo (100), (010), (110) im Gleichgewicht erscheinen, wenn Plagioklas der Nachbar ist, selten zu beobachten. Die Durchschnitte sind kaum merklich grün gefärbt, Pleochroismus fehlt.

Die Hornblende ($c\gamma = 15°$ *cm*, $2V\alpha = 78°$) blaß gefärbt, Pleochroismus schwach, zeigt im Auftreten größere Mannigfaltigkeit. Sie bildet:

a) Kompakte xenomorphe Individuen von deutlich grüner Farbe, die mit sehr unregelmäßiger, oft launig verzweigter Gestalt zwischen den Pyroxenkörnern liegen.

b) Uralitartige Aggregate nach Hypersthen in gesetzmäßiger Verwachsung, auch faserig und inselartig in den Diallag eindringend.

c) Faserige Neubildungen, büschelig, wirrfaserig von nephritähnlicher Beschaffenheit, an der Grenze der Pyroxene und Feldspate.

Das Gestein hat die Zusammensetzung eines plagioklasreichen Hypersthen-Gabbros, weicht aber von normalen Gabbrotypen recht merklich ab:

1. Durch die auffallend weiße Farbe des anorthitähnlichen Plagioklases und durch das Vorwalten der Zwillingsbildung nach dem Periklingesetz.

2. Durch den Mangel an Erz, womit auch das Fehlen der schillernden Einschlüsse in Hypersthen und Diallag in Einklang steht.

Uralit-Gabbro mit nephritischem Grundgewebe.

Mittel-Bitüči (Dünnschliff Nr. 2978). Vgl. geologischer Bericht p. 33.

In dieselbe Verwandtschaft gehört wohl auch das folgende Gestein, das durch seine kompakte Struktur, das hohe spezifische Gewicht, feinkörniges Aussehen und graugrüne Farbe gleichwohl stark abweicht.

Unter dem Mikroskop erweisen sich uralitische Hornblende und Plagioklas als die einzigen wesentlichen Gemengteile.

Die Hornblende ist blaß gefärbt, grün mit kaum merklichem Pleochroismus. Sie bildet häufig gut erkennbare Pseudomorphosen, an denen man im Querschnitt die vorwaltenden Pinakoide und unter-

geordnet das Prisma erkennt. Längsschnitte, namentlich solche nach der Querfläche zeigen öfter das flache Dach der Spuren von s; sie sind kurz und gedrungen, die größten erreichen etwa 1 *mm*.

Pyroxen ist nicht mehr nachweisbar. Die Hornblende ist sehr feinfaserig und gut parallel orientiert. Oft erkennt man die übernommene Zwillingsbildung des Pyroxens nach (100). Besonders die Längsschnitte nach (010) mit den höchsten Interferenzfarben zeigen sie oft und zwar häufig in der Ausbildung von Durchwachsungszwillingen, so daß immer zwei diagonal liegende Viertel des Durchschnittes gleichzeitig auslöschen.

Die Auslöschungsschiefe, abgeleitet aus dem Winkel der opt. Achsen AA' in einem Zwillling nach (100) ist $c\gamma = 15°$; $2V$ ziemlich groß aber noch deutlich α erste Mittellinie. Die Stärke der Doppelbrechung ist die für Hornblende normale.

In manchen, und zwar namentlich in den größeren Pseudomorphosen zeigt die Hornblende innerhalb der Pyroxenform stärkere Abweichungen vom Parallelismus und ein viel unregelmäßigeres Alternieren der beiden Zwillingsstellungen. Solche Durchschnitte sehen manchmal aus wie ein unordentlich geflochtener Zopf von Haaren. Es ist mir nicht unwahrscheinlich, daß diese Uralite von rhombischen Pyroxenen abstammen. Der häufige und unregelmäßige Wechsel der Zwillingsstellungen rührt wohl davon her, daß bei der homoachsen Umwandlung des rhombischen Pyroxens in die monokline Hornblende beide Zwillingsstellungen gleich wahrscheinlich sind. Die Erscheinung erinnert an die Verdrängung von Kalifeldspat durch »Schachbrett-Albit«. Diese Pseudomorphosen treten viel sparsamer auf als die erst beschriebenen.

An den Rändern der Uralite wachsen die feinen Hornblendefasern über die Grenze der Pyroxenform hinaus und sind außerhalb derselben gleichsam der Zucht und Regel der Parallelstellung entronnen. Sie treten zu divergierenden Büscheln auseinander und verfilzen sich zu wirrfaserigen an Nephrit erinnernden Aggregaten: dabei werden die Fasern sehr fein bis unter 0·01 *mm* hinunter.

In dem graugrünen Filz von Hornblendefasern liegen, etwa ein Viertel der Masse ausmachend, durchsichtige frische Körner von Plagioklas. Deutliche Krystallformen sind nicht zu beobachten. Durch eine etwas trübe Zone feinster unbestimmbarer Körnchen sind sie von der Hornblende getrennt. Die Umrisse lassen eine Korrosion des Feldspates bei Ausbildung des nephritischen Filzes vermuten. Im Inneren sind sie klar und durchsichtig. Zwillingsbildung nach Albit- und Periklingesetz ist oft zu sehen, auch Andeutungen von Karlsbader Zwillingsbildung. Die Lamellen sind oft sehr zahlreich und überaus fein, oft weniger als 0·01 *mm* breit. Schnitte senkrecht zu M und P geben Auslöschungsschiefen $M\alpha'$ bis 44°. In einem geeigneten Durchschnitt konnte der Winkel $B_1 B'_2$ mit zirka 10° gemessen werden und die Achsenebenen kreuzen sich entsprechend Fig. 6*b* oder *c* zwischen B und α.[1] Hieraus ist auf eine recht anorthitreiche Plagioklasmischung zwischen 80 und 90% An zu schließen. Hiemit stimmt auch der an der Hyperbelkrümmung erkannte negative Charakter der Doppelbrechung. Außer diesen beiden Mineralen treten in geringer Menge Gruppen trübweißer Leukoxenkörnchen auf, bisweilen noch spärliche Reste schwarzen Erzes umschließend. Hie und da weichen in dem Nephritfilz die Strähne von Hornblendefasern etwas auseinander und liegen in einem etwas schwächer lichtbrechenden Mineral ohne deutliche optische Reaktion (Serpentin?).

Durch die Uralitisierung der Pyroxene ist die ursprüngliche Struktur des Gesteins sehr verwischt und verschmiert. Die entscheidenden Grenzverhältnisse der ehemaligen Hauptgemengteile sind nicht mehr festzustellen. Es scheint wohl, daß die Pyroxene wenigstens teilweise idiomorph entwickelt waren. Die Vortäuschung einer Grundmasse durch den jetzt alle Zwischenräume erfüllenden Nephritfilz darf nicht als Kennzeichen einer ehemaligen porphyrischen Struktur gewertet werden. Die vorliegende Struktur ist pseudoporphyrisch, durch Metamorphose hervorgebracht.

Wenngleich wahrscheinlich viel Feldspatsubstanz durch diese Umwandlung verbraucht wurde, kann das vorliegende Gestein schwerlich so plagioklasreich gewesen sein, wie die früher beschriebenen Gesteine Hypersthen-Gabbro und Norit.

---

1 Vgl. F. Becke, Denkschr. d. kais. Akad. d. Wiss., *75*, p. 118.

Norit,

Babai Boks (Dünnschliff Nr. 2980). Vgl. geologischen Bericht p. 35.

Dieses Gestein gleicht bis auf das Fehlen von Diallag und das Zurücktreten der Hornblende-neubildungen sehr dem von Bitüči. Der Plagioklas ist weniger stark zersetzt, die Neubildungen teils kryptokrystallin, teils schuppig, hier aber von glimmerähnlicher Orientierung (γ in der Richtung der Spaltrisse).

Am Hypersthen zeigen sich besonders in Querschnitten Andeutungen von Zonenstruktur mit Zunahme der Fe-Verbindung in einer schmalen übrigens unregelmäßig entwickelten Außenzone. Auch hier fehlen Erze und Akzessorien, sowie die Schillereinschlüsse im Hypersthen, obwohl dieser kräftigen Pleochroismus zeigt.

Diorit,

Babai Boks (Dünnschliff Nr. 2981).

Auch diese Probe stammt von den Geröllanhäufungen, von welchen der geologische Bericht p. 35 Kunde gibt. Sie zeigt eine ziemliche Mannigfaltigkeit in der Ausbildung der Feldspat führenden Gesteinsarten an, was übrigens nichts befremdliches oder ungewöhnliches darstellt.

Die Probe besteht aus einem mittelkörnigen Gemenge von ungefähr gleich viel schwarzgrüner Hornblende und (durch Zersetzung) porzellanweißen trüben Feldspat. Korngröße etwa 3 bis 4 *mm*.

Unter dem Mikroskop sind als Gemengteile zu erkennen:

Hornblende in Körnern ohne gut erkennbare Krystallform von grüner Farbe, die von Korn zu Korn verschieden intensiv ist. Die dunkelsten Körner enthalten reichlich mikroskopische Erzeinschlüsse, Nädelchen und Körnchen. Die optischen Eigenschaften sind die gewöhnlichen: $c\gamma = 15°$ $2V\alpha = 74°$, $\gamma - \alpha =$.

Die dunklen Körner sind stark pleochroitisch γ grün ins bläuliche, β bräunlich grasgrün, α lich, gelblichgrün. Die heller gefärbten Körner sind schwächer pleochroitisch.

Die Feldspate sind sehr stark zersetzt. Im Innern der Durchschnitte haben sich Inseln von zweierlei stark lichtbrechenden Neubildungen entwickelt, die meist gesondert auftreten:

1. Epidot stellenweise ziemlich grobkörnig mit ausgesprochener Abnahme der Doppelbrechung nach außen, stellenweise in ganz guten Säulen ausgebildet.

2. Prehnit, körnige Aggregate aus sehr unregelmäßig gestalteten und in einander verschränkten Individuen.

Auf Klüften kommen diese beiden Minerale zusammen vor, derart, daß der Epidot die Wände bekleidet, Prehnit den übrig bleibenden Raum erfüllt, nicht selten in den rosettigen oder fächerförmigen Aggregaten, die er so gerne bildet.

Vom Feldspat sind nur trübe Reste übrig geblieben, die gitterförmige Zwillingslamellierung manchmal noch erkennen lassen. Genauere Bestimmung ist nach dem Erhaltungszustand unmöglich.

Hie und da bemerkt man Nester von optisch + Chlorit mit stark unternormalen Polarisationsfarben (Klinochlor). Er bildet oft radial gestellte Blättchen, die dann Andeutungen des Brewster'schen Kreuzes zeigen. Nicht selten hat er sich zwischen Feldspat und Hornblende eingedrängt. Bemerkenswert ist das Fehlen von Erzkörnern.

Diorit mit Andeutung von Parallelstruktur.

Babai Boks (Dünnschliff Nr. 2979).

Auch diese Probe stammt von der Fundstelle, die im geologischen Bericht, p. 35, erwähnt ist. Das vorliegende Handstück von graugrüner Farbe zeigt mittleres bis feines Korn, eine Andeutung von Parallelstruktur.

Unter dem Mikroskop sind als Gemengteile nur Hornblende und Plagioklas zu erkennen.

Die Hornblende bildet kurze dicke Säulen, die bis 3 *mm* Größe erreichen. Im Querschnitt sind öfter die Flächen (110), (010), (100) angedeutet; Kopfflächen fehlen. Die Farbe ist blaßgrün mit kaum merklichem Pleochroismus. $c\gamma = 18$ bis $19°$. $2V\gamma = 82°$, $\gamma - \alpha = 0 \cdot 022$.

Diese Merkmale deuten auf eine an Pargasitsubstanz reiche Mischung. Zonenstruktur ist nicht zu erkennen. Zwillingsbildung nach (100) ist, gelegentlich in Form dünner eingeschalteter Lamellen, nicht besonders häufig. Das Mineral ist arm an Einschlüssen.

Plagioklas bildet rundliche Körner ohne Andeutung von Krystallform, die nesterweise in Aggregaten zwischen den Hornblenden auftreten, etwa ein Viertel der Hornblendemenge ausmachend. Diese sind durchwegs verzwillingt, häufig gleichzeitig nach dem Albit- und Periklingesetz. Karlsbader Gesetz ist selten. Die Periklinlamellen weichen oft merklich von den Spaltrissen nach P ab. Große Auslöschungsschiefer in Schnitten senkrecht zu M und P, der merklich negative Charakter der Doppelbrechung, die starke Lichtbrechung, wesentlich höher als Kanadabalsam, das Vorkommen von Schnitten, in denen beide Systeme von Zwillingslamellen Achsenaustritt zeigen (leider nicht meßbar wegen Schmalheit der Lamellen des einen Systems); alle diese Merkmale verraten einen dem Anorthit nahe stehenden Plagioklas.

Das Gestein ist ziemlich frisch, der Plagioklas von glimmerähnlich orientierten Schüppchen hie und da getrübt.

Längs mehrerer den Schliff durchziehender Linien, die auch am Handstück zu sehen sind, sind die Gemengteile stark zertrümmert und dazwischen ein farbloses, sehr schwach doppelbrechendes Mineral mit rechtwinkliger Spaltbarkeit, Lichtbrechung niedriger als Kanadabalsam abgesetzt. Diese Linien sind als feine weiße Klüftchen im Handstück bemerkbar. Das Mineral dürfte Analzim sein. Man bemerkt, daß es sowohl Plagioklas als Hornblende verdrängt, deren feine Trümmer in die nahezu einfach brechende krystallinische Masse eingebettet sind.

B. Serpentin der Schieferhornsteinformation.

Im geologischen Bericht werden die Serpentingesteine im Bereich der Schieferhornsteinformation getrennt gehalten von den großen Peridotitmassen im Südosten des Gebietes.

Als hauptsächlichste Unterschiede werden hervorgehoben: das Auftreten in kleineren Gesteinskörpern, das Fehlen der mit freiem Auge erkennbaren frischen Olivingesteine, das Vorkommen von lebhaft grüngefärbten Serpentinvarietäten und der von Baron Nopcsa als »glasiger Serpentin« bezeichneten Abart, endlich die innige Verknüpfung mit grüngefärbten Schiefern, deren Verhältnis zu dem Serpentingestein im übrigen unentschieden ist.

Um durch petrographische Untersuchung zur Klarstellung der hier auftretenden Fragen einiges beizutragen, wurden auch von einigen ausgewählten Proben dieser Gesteine Dünnschliffe hergestellt und mikroskopisch untersucht.

Als Beispiel der Serpentingesteine dieser Zone wurde das folgende ausgewählt.

Harzburgit-Serpentin von Tropoja.

Dünnschliff Nr. 2987. Vgl. geologischer Bericht p. 26.

Dieses Gestein fällt durch die zierliche Durchaderung von Chrysotil auf, es bildet Geschiebe in den Schottern des Tropojabaches.

Es ist ein auffallend dunkelschwarzgrünes Gestein mit einem Netzwerk von 1 bis 3 *mm* starken ölgrünen Chrysotiladern. Der Chrysotil läßt sich zu Fasern zerzupfen, doch sind die Fasern nicht besonders biegsam. Spezifisches Gewicht ist 2·676.

Unter dem Mikroskop zeigt sich Maschenserpentin mit der gewöhnlichen Maschenstruktur; wenige Stellen zeigen Andeutungen homoachser Pseudomorphosen von Bastit. Spärlich sind etwa $^1/_2$ *mm* große Picotitkörner. Der Serpentin ist fast frei von Magnetitausscheidungen, aber dafür deutlich grün gefärbt.

Die Chrysotilbänder geben das bekannte Bild der Moirébänder. Das Mineral ist merklich stärker doppelbrechend ($\gamma - \alpha = 0 \cdot 015$) als die am stärksten doppelbrechenden Balken des Maschenserpentins ($\gamma - \alpha = 0 \cdot 011$). Wieder unterschreitet α des Chrysotils merklich die Lichtbrechung des Gesteinsserpentins, hält sich aber über dem Brechungsexponenten des Kanadabalsams.

Aus der Beschreibung geht servor, daß dieser Serpentin keinen wesentlichen Unterschied gegenüber den Harzburgit-Serpentinen des Peridotit-Massivs darbietet.

Der »glasige« Serpentin.

In den geologischen Beschreibungen der albanischen Serpentinvorkommen erwähnt Baron Nopcsa häufig »glasigen Serpentin«. Auch v. Kerner erwähnt diese Beschaffenheit häufig, namentlich von den kleineren randlichen Serpentinstöcken und Lagern in der Schieferhornsteinformation. Von mehreren Fundorten lagen mir Proben dieser Serpentinart vor, nämlich von Demusaj, Bardic, Ober-Bunjai, Begaj, Tropoja.

Zunächst sei bemerkt, daß es sich um stark glasglänzenden Serpentin handelt. Der Glasglanz ist an mehr oder weniger striemige Quetschflächen geknüpft; die vorliegenden Handstücke haben durchwegs die Form von gequetschten länglichen Knollen, manchmal Andeutung von Linsen- oder noeh besser Mandelformen. Im Innern, auf Bruchflächen sieht man schwarzgrünen matten Serpentin, die gestriemte glasglänzende Oberfläche ist gelblich oder bräunlichgrün; diese lichtere Masse bildet manchmal nur eine hauchdünne Haut, bisweilen eine mehr als 1 *cm* dicke Kruste.

Parallel zur glasglänzenden Oberfläche ist die Kruste von ebenso glänzenden Flächen durchzogen, nach denen sich leicht dünne durchscheinende Lamellen abheben lassen. Die Masse zerfällt beim Zerdrücken leicht in dünne starre Stengel parallel jener Richtung, welche auf den gestriemten Harnischflächen durch eine Riefung, an den durchscheinenden Blättchen oder im Dünnschliff durch eine feine Faserstruktur ausgezeichnet ist.

An dickeren Krusten erkennt man außer den Ablösungen parallel den glasglänzenden Harnischflächen noch glatte Absonderungen, die auf der Harnischfläche senkrecht stehen und der Faserrichtung parallel gehen. Diese sehen vollkommen matt und glanzlos aus, und man bemerkt einen ausgezeichnet feinsplittrigen Bruch.

An einem ausgezeichneten lichtspargelgrünen Exemplar von Ober-Bunjai (Geol. Ber. p. 18) wurden einige Untersuchungen angestellt (Dünnschliff 3050—3052).

Das spezifische Gewicht von drei ausgesuchten Stücken wurde im lufttrockenen Zustand gleich nach dem Eintauchen in Wasser mit 2·47, 2·44, 2·508 bestimmt. Die Stücke wurden dann einige Zeit im Wasserbade erwärmt, wobei unendlich feine Luftblasen austraten. Nach Abkühlung wurde das Gewicht in Wasser merklich größer gefunden und das spzifische Gewicht ergab sich zu 2·55, 2·528, 2·576, im Mittel 2·55. Manche Exemplare zeigen eine weißlichgrüne, wenig durchscheinende Farbe und sind offenbar in noch höherem Maße porös; sie haften stark an der feuchten Zunge und verhalten sich überhaupt ähnlich dem Meerschaum. Die frischen Exemplare sind kantendurchscheinend. Man erkennt dreierlei Arten von Absonderungsflächen.

1. Parallel der feingestriemten Harnischfläche lassen sich stellenweise sehr dünne durchscheinende Lamellen abheben, die unter dem Mikroskop eine feine Faserung erkennen lassen, die namentlich im polarisierten Licht gut hervortritt. Doch ist keine eigentliche Spaltbarkeit vorhanden, denn die glatten

Trennungsflächen lassen sich nicht an jeder beliebigen Stelle hervorrufen. Der lebhafte Glasglanz dieser Harnischflächen geht, wo sie eng geschart auftreten, ins perlmutterartige über.

2. Senkrecht zur Harnischfläche und parallel der Faserung geht eine fernere Teilbarkeit; die entstehenden Trennungsflächen zind zwar ziemlich eben, aber vollkommen matt und man erkennt feinsplittrigen Bruch.

3. Endlich sind noch Risse quer zur Faserung vorhanden, die nicht streng geradlinig sind, im Allgemeinen über größere Strecken annähernd parallel verlaufen, meist einen Winkel zwischen 70 und 80° mit der Faserung einschließen.

Beim Zerschlagen und Zerdrücken erhält man sehr starre Stengelchen parallel der Faserrichtung.

Sehr kompliziert sind die Strukturbilder, die man in Dünnschliffen nach der Harnischfläche, nach der Längsfläche und im Querschliff wahrnimmt.

Mikroskopische Untersuchung. Die drei Arten von Schliffen zeigen, daß das Mineral nicht homogen ist. In allen drei Schliffen treten Faserstränge bald scharf begrenzt, bald in die Umgebung gleichsam verschwimmend auf, welche sich optisch ähnlich dem Chrysotil verhalten. Die Farbe ist lichter als die grüne Umgebung, die Lichtbrechung, namentlich die der α-Richtung entsprechende, niedriger als die des umgebenden Serpentins, die Doppelbrechung höher. Parallel der Erstreckung in der allgemeinen Faserrichtung tritt eine Faserung zu Tage, der die γ-Richtung entspricht. Interferenzfigur entspricht im Schliff parallel der Harnischfläche und im Längsschliff entweder der optischen Normale oder der Mittellinie eines sehr stumpfen Achsenwinkels. Im Querschliff war es nicht möglich, ein Interferenzbild darzustellen. Die Doppelbrechung erreicht in diesen farblosen Fasersträngen den Wert 0·012.

Im Harnisch-Schliff finden sich, augenscheinlich aus derselben Substanz bestehend (heller gefärbt, schwächer lichtbrechend), zahlreiche sehr feine, quer zur Längsfaserung verlaufende Lamellen von großer Feinheit.

Die deutlicher grün gefärbte Grundsubstanz, in der die chrysotilähnlichen Faserstränge eingelagert sind, erweist sich stärker lichtbrechend als Kanadabalsam. Im Bereich der gedrängten Harnischflächen ist die Doppelbrechung höher als in den kompakten dichten Partien. Die letzteren geben öfter Interferenzbilder, als ob Achsenaustritt eines nicht ganz kleinen Achsenwinkels um α im Längsschliff, um γ im Querschliff vorhanden wäre; doch lassen solche Stellen mit starker Vergrößerung untersucht ein Gewebe von gekreuzten ungemein feinen Fasern erkennen. Im Schliff parallel der Harnischfläche treten Faserzüge mit gerader und mit bis zu 20° schiefer Auslöschungsrichtung γ hervor, ohne scharfe Abgrenzung und in verschiedenen Abstufungen. Die schief auslöschenden Faserbündel zeigen anscheinend etwas niedrigere Doppelbrechung (0·003), die gerade auslöschenden etwas höhere (bis 0·005) dabei ist Dispersion der Doppelbrechung $\rho < v$ angedeutet.

Diese grüne Grundsubstanz erweist sich immer etwas fein getrübt, milchweiß im auffallenden, bräunlichgrün im durchfallenden Licht. Durch die häufig auftretende schiefe Auslöschungsrichtung ähnelt das Verhalten am meisten jenem, welches ich am dichten Serpentin von Montville, New Jersey gefunden habe.[1] Mit dem nahestehenden Metaxit oder Pikrolith (Brauns) läßt sich die Grundsubstanz nicht völlig vereinigen.

Daß man es hier mit einer Aggregatpolarisation zu tun habe, die unter dem Einfluß gleitenden Druckes in einem vielleicht ursprünglich amorphen Körper beim Krystallinischwerden zustande kommt, ist mir durchaus wahrscheinlich; auch der Vergleich mit den Erscheinungen plastisch deformierter weicher Krystallmassen, den Reinhard[2] auf ähnliche Gebilde anwendet, ist vermutlich ganz richtig.

---

[1] Silivia Hillebrand: Serpentin und Heulandit. Sitzungsbericht der Wiener Akademie der Wissensch., Bd. 115, Abt. 1 1906, p. 740.

[2] Anuarul Institutului de Geologie al României. Vol. V, 1911, p. 23.

C. Grünschiefer des Valbonatales.

Unter den im Valbonatal vorkommenden Schiefergesteinen werden mehrfach Grünschiefer genannt und es schien nicht ohne Interesse, Beispiele dieser Gesteine auch im Dünnschliff zu untersuchen.

Titanitreicher Chloritschiefer.

Begaj-Schlucht (Dünnschliff 3048).

Der geologische Bericht erwähnt (p. 21) das Vorkommen von wohlgeschichtetem Grünschiefer im Begaj-Tal, der Übergänge in Serpentin zeigt.

Proben dieses Gesteins lagen mir vor: Ein ziemlich düster graugrün gefärbtes sehr dichtes, schwach geschiefertes Gestein von splittrigem Bruch, härter als Serpentin von hohem spezifischen Gewicht ($s = 3 \cdot 17$) auf Kluftflächen von dünnen Brauneisenerz-Anflügen braun überzogen.

Die Zusammensetzung dieses Gesteins ist ebenso einfach als sonderbar. Es besteht zu $^4/_5$ aus ungemein feinschuppigem Chlorit mit reichlich eingestreutem Titanit (ungefähr $^1/_5$). Der Chlorit bildet ungefähr isometrische Körner von grüner Farbe. Der Pleochroismus ist nicht besonders stark. Die annähernd leistenförmigen Querschnitte zeigen α in der Richtung der Spaltrisse, γ quer zu denselben. Die Doppelbrechung ist ziemlich kräftig $\gamma-\alpha = 0 \cdot 015$. Das Auftreten von teils übernormalen, teils unternormalen Interferenzfarben deutet auf starke Dispersion der Achsen. Interferenzbilder sind wegen Kleinheit der Individuen nicht zu erhalten. Da die große Mehrzahl der Durchschnitte unternormale Interferenzfarben zeigt, sollte man die Dispersion der Achsen $\rho < v$ um γ erwarten. Stellenweise treten geradlinig begrenzte Felder auf, die aus gehäuften Chloritschuppen bestehen und wie Pseudomorphosen aussehen. An anderen Stellen sieht man auffallend licht gefärbte Chlorit-Individuen gitterartig in paralleler Stellung angeordnet.

In dieses chloritische Grundgewebe sind zahlreiche winzige Titanitkörnchen eingelagert. Sehr starke Doppelbrechung ($\gamma-\alpha = 0 \cdot 2$ bis $0 \cdot 3$), positiver Charakter, kleiner Achsenwinkel, starke Dispersion $\rho < v$, lassen keinen Zweifel an der Richtigkeit der Bestimmung. Die Titanitkörnchen erreichen höchstens 20 μ, lassen Andeutungen sechseitiger Tafelform und spitzeckige Durchschnitte erkennen. Die Mehrzahl ist aber als feiner Titanitsand bis zur Mikrongröße herab entwickelt; oft sind kleinste Körnchen zu Stäbchenformen aneinandergereiht.

Kein anderes Mineral ist in dem seltsamen Gestein vorhanden, weder Epidot noch Carbonat noch Feldspat. Daß es von einem basischen Eruptivmaterial abstamme, ist sehr viel wahrscheinlicher als Abstammung von einem Sediment. Keine sicher deutbare Reststruktur ist erhalten geblieben. Auf Serpentin ist das Gestein schwerlich zurückzuführen. Dies verbietet der Charakter des chloritischen Minerals, das einen beträchtlichen Tonerdegehalt haben dürfte. Man wäre am ersten geneigt, einen dichten Spilit als Ursprungsgestein anzunehmen. Auffallend ist der reichliche Titanitgehalt; wenn man die Menge in Folge der kräftigen Licht- und Doppelbrechung auch vielleicht überschätzt, ist sie doch viel größer als man sie sonst in Grünschiefern zu sehen gewohnt ist.

Chloritischer Grünschiefer.

Schlucht von Gegušenj. (Dünnschliff 3049) (Vgl. geolog. Bericht, p. 14.)

Diese Schieferprobe wurde deshalb zur Untersuchung ausgewählt, weil sie äußerlich etwas tuffartig aussieht und erwartet wurde, daß die mikroskopische Untersuchung diese äußere Ähnlichkeit etwa bestätigen würde. Allein dies ist nicht eingetroffen. Auch bei diesem Gestein ist durch die eingetretene Metamorphose, die einer sehr geringen Tiefenstufe entspricht, jede Andeutung einer Reststruktur verwischt.

Das Gestein ist feinschuppig schiefrig, weich, graugrün mit vielen hanfkorngroßen dunkler grünen Flecken. $s = 2 \cdot 87$.

Im Schliff zeigt sich ein beträchtlicher Calcitgehalt, die dunkelgrünen Flecken sind stark-pleochroitischer Chlorit von dunkelgrünblauer Farbe fast ohne Doppelbrechung mit ganz schwachen abnormen Interferenzfarben (dunkelpurpur bis schwarzblau). Als fernere Gemengteile treten noch auf: ein sericitischer Glimmer teils in größeren Schüppchen, teils in winzigen Flittern mit Chlorit verwachsen, ein in unregelmäßigen Körnern auftretender, dem Albit nahestehender Plagioklas, endlich unregelmäßig in Strähnen und Wolken verteilt feinster Titanitstaub. Nach Hornblende, Epidot wurde vergeblich gesucht. Der Kalkspat tritt in auffallend nach der Schieferung abgeplatteten Individuen auf, die in außerordentlich dichter Anordnung von Gleitzwillingslamellen durchsetzt sind.

Auch bei diesem Gestein wird man an Eruptivmaterial eher als an ein Sediment zu denken haben; das reichliche Auftreten von sericitischem Glimmer läßt aber an die Beimengung von Ton denken.

Anhang.

Diaphthorit von Granitgneis.

Dragobijs,

oberstes Valbonatal (Dünnschliff 2984). (Vgl. geolog. Bericht, p. 11.)

Anhangsweise sei hier noch die Beschreibung eines kleinen Handstückes angefügt, welches F. v. Kerner lose im oberen Valbonatal aufgesammelt hat und das aus dessen obersten Verzweigungen stammen muß. Ob das Gestein dort irgendwo ansteht oder irgend einer Geröllablagerung entstammt, bleibt ungewiss.

Das Stück macht bei Betrachtung mit dem unbewaffneten Auge den Eindruck eines halbkrystallinen Schiefers. Manche stark sericitische Verrucanoschiefer sehen ähnlich aus. Es zeigt flaserige Struktur man erkennt eine nicht unbeträchtliche Menge von glasglänzenden, rauchgrauen Quarzkörnern, ferner dichte lichter und dunkler graugrüne Streifen und Flecken und recht spärlich schwarze metallglänzende Körnchen.

Unter dem Mikroskop ist der reichlich vorhandene Quarz in ziemlich groben Kornflasern mit stark undulöser Auslöschung und teilweise recht merklicher Gefügeregelung (γ senkrecht zur Schieferung, der am besten erhaltene Bestandteil.

Von Feldspat sind zweierlei Reste wahrzunehmen:

1. Gänzlich zersetzte Partien aus feinschuppigem Sericit. Kleinere von Quarz rings umschlossene zeigen noch annähernd rechteckige Umrißlinien, größere sind zu Linsenformen ausgezogen. Wahrscheinlich sind sie auf ehemaligen Plagioklas zurückzuführen.

2. Spärlicher sind Durchschnitte, die zwar feingetrübt, hie und da von Kalkspatkörnchen durchsetzt aber in ihren optischen Reaktionen noch als Kalifeldspat kenntlich sind.

Das Gestein scheint ziemlich viel Biotit besessen zu haben, der nirgends mehr als solcher erhalten ist. Die trüben Massen, die ich als veränderten Biotit ansehe, geben stellenweise die optischen Kennzeichen von Chlorit (grüne Farbe, schwache negative Doppelbrechung); hie und da umschlossene Zirkonkryställchen sind von pleochroitischen Höfen umgeben. Diese Pseudomorphosen sind gegen die Ränder hin massenhaft von Sericitschüppchen in paralleler Stellung durchwachsen.

Ein derartiges Gestein mit Sicherheit aus einem losen kleinen Fragment zu klassifizieren, ist immer unsicher. Viel spricht dafür, es für den Diaphthorit eines Granitgneises zu erklären. Aber starke mechanische Durchbewegung vorausgesetzt, würde auch Abstammung von Granit möglich erscheinen. Selbst die Abstammung von einem arkoseartigen groben Sediment wäre nicht ausgeschlossen.

D. Einige allgemeine Bemerkungen.

1. Vergleich mit Nachbargebieten. Tiefengesteinsstruktur.

Mit den vorstehend beschriebenen Gesteinen stehen in naher räumlicher Beziehung die Eruptivgesteine, welche in der Abhandlung von Dr. Franz Baron Nopcsa und Dr. Max Reinhard: Zur Geologie und Petrographie des Wilajets Skutari in Nordalbanien[1]) beschrieben werden; ferner sind zu erwähnen die Bestimmungen Felix Cornus in der Abhandlung von Dr. Hermann Vetters: Beiträge zur Kenntnis des nördlichen Albaniens.[2]) Die Abhandlung von Reinhard bezieht sich auf das unmittelbar im Westen und Südwesten anschließende Gebiet. Reinhard gliedert die von Nopcsa gesammelten Proben in zwei Gruppen: 1. Triadische Eruptiva: Diabase, Porphyrite, Spilite, Variolite, Granite, Quarzporphyre, hiezu zwei Vorkommnise, die als Odinit und Quarzbostonit klassifiziert werden. 2. Jurassische Eruptiva: Gabbro und seine Differentiationsprodukte, Peridotit, Dunit, Diallagit, Amphibolit und Serpentine. Nur die letztere Gruppe läßt sich mit den von v. Kerner gesammelten Gesteinen vergleichen. Doch scheint das Verhältnis der Hauptarten im Valbonagebiet und in der Merdita verschieden zu sein. Hier herrscht Peridotit vor, Gabbro und Norit treten an Häufigkeit stark zurück. Im Merditagebiet bildet Gabbro in der Gegend von Oroši ein großes, zusammenhängendes, zentrales Massiv, Peridotit und Serpentin scheinen mehr den Rändern zuzufallen.

Die kurzen Diagnosen Cornus in der Abhandlung von Vetters lassen die Wiederkehr ähnlicher Typen im Valbonagebiet erkennen; doch scheint auch nach diesen Angaben die Mannigfaltigkeit in der Merdita größer zu sein.

Soweit die vorliegenden Proben ein Urteil gestatten, ist unter den von v. Kerner gesammelten Gesteinen kein deutliches Ergußgestein vorhanden. Was untersucht wurde, hat Tiefengesteinscharakter. Aus dem geologischen Bericht ist zu ersehen, daß Peridotit vorwaltet, nach den untersuchten Stücken ist der Typus Harzburgit (Olivin-Bronzit) am meisten verbreitet.[3]) Pyroxenite sind untergeordnet, und zwar scheint sowohl reiner Diallagfels — wiewohl seltener — vorzukommen, als auch die Kombination Bronzit-Diallag, wobei der Bronzit vorherrscht. Hornblende tritt immer mehr untergeordnet hinzu und erweist sich stets jünger, als die beiden Pyroxene; manchmal sieht es so aus, als ob er noch in den spätern Stadien der magmatischen Erstarrung, wiewohl beträchtlich später als die Pyroxene, zur Ausbildung käme; aber auch als unverkennbar sekundäre Bildung, Pseudomorphosen bildend, tritt er auf (als Uralit) und gleichartige, feinfaserige Hornblende in nephritähnlichen Aggregationsformen ist in gewissen Typen sehr verbreitet.

Der geologische Bericht gibt noch keinen klaren Einblick, in welchem Zusammenhang diese metamorphen veränderten Gesteine zu den frischen stehen. Dies ist von ersten kursorischen Gebietsaufnahmen auch gar nicht zu verlangen.

Auch über die Verteilung und das gegenseitige Verhältnis der frischen Olivingesteine, der Halb- und Vollserpentine könnten erst weitere Feldbeobachtungen Aufschluß geben. Nur scheint aus den gesammelten Proben hervorzugehen, daß die kleineren Vorkommen in der Schieferhornsteinformation völlig in Serpentin verwandelt sind, während die frischen Olivinfelse und Halbserpentine den großen Peridotitmassen des östlichen Hügellandes angehören.

Eine gewisse Mannigfaltigkeit (Gabbro, Norit, Diorit) zeigen die feldspathaltigen Gesteine, deren Auftreten und Verhältnis zu den Peridotitmassen auch noch weiterer Feldbeobachtungen bedarf.

Wenn man die Berichte Vetters mit dem vorliegenden v. Kerners zusammenhält, könnte es allerdings scheinen, als ob die Peridotitgesteine und ihre pyroxenitischen Abarten eine Art basische Randzone um das große Gabbro-Dioritgebiet der Merdita (Oroši) darstellten.

---

[1]) Anuarul Institutului de Geologie al României. Vol. V, 1911, fasc. 1*a*, Bukarest 1912.

[2]) Denkschriften der Kais. Akad. d. Wissensch., Bd. 80, p. 201, 1906.

[3]) Von Mittelalbanien hat F. Cornu an dem von Vetters mitgebrachten Material das Vorherrschen des Harzburgittypus und seiner Serpentine nachgewiesen. Denkschr. d. Kais. Akad. d. Wissensch., Bd. 80, p. 19.

Es wurde schon erwähnt, daß Strukturen, die für Ergußgesteine charakteristisch sind, durchwegs fehlen. Die Gesteinsstrukturen sind bei allen mineralogisch unterscheidbaren Abarten Tiefengesteinsstrukturen. Für die Deutung der Tektonik des Gebietes ist das vielleicht von Belang. Es ist sehr unwahrscheinlich, daß die Gesteinskörper, denen die untersuchten Proben entstammen, sich auf der Oberfläche oder nahe derselben gebildet haben. Eine gewisse Intrusionstiefe möchte man für Eruptivkörper dieser Art wohl voraussetzen. Allerdings ist es sehr schwer, nach dem jetzigen Stand der Kenntnisse für die Tiefe, in der sich die Intrusion abgespielt haben mag, eine ziffermäßige Angabe zu versuchen.

Die Tiefengesteinsstruktur ist nur selten von dem Typus »hypidiomorphkörnig«, so daß eine klare Erstarrungsfolge abzulesen ist. Doch scheint allenthalben der Plagioklas (selbst wenn er mehr als die Hälfte des Gesteins ausmacht) nach den Pyroxenen, der Diallag nach dem Bronzit zu krystallisieren. Über das gegenseitige Verhältnis von Olivin und Bronzit ist es schwer, eine sichere Entscheidung zu treffen, doch sprechen die außerordentlich unregelmäßigen Umrisse der Bronzitkörner in den frischesten Harzburgiten nicht dafür, daß Bronzit älter wäre als der Olivin, eher ist das umgekehrte anzunehmen. Chrom-Spinell scheint trotz der geringen Menge, in der er auftritt, manchmal dem Olivin voranzugehen (teilweise Oktaederformen).

Ausgesprochen jünger in der Erstarrungsfolge ist die Hornblende. Augenscheinlich ist ihre Bildung oft mit einer Aufzehrung des monoklinen Pyroxens verbunden, eine Erscheinung, welche ja in Gesteinen von Tiefengesteinscharakter sehr gewöhnlich ist.[1]) Die Hornblende ist in der bekannten Weise gesetzmäßig parallel gestellt zum monoklinen Pyroxen. Charakteristisch ist das Zusammenfallen der optischen Achsen A bei beiden Mineralien.

Außer dieser in Pyroxeniten und in Gabbro auftretenden kompakten Hornblende tritt in vielen Gesteinen, vom Peridotit bis zu den Gabbroarten, eine feinfaserige Hornblende auf, welche schon zu den sekundären Bildungen gehört und dort besprochen wird.

2. Anzeichen von Gauverwandtschaft.

Gabbro, Norite, Pyroxenite und Peridotite bilden eine Gesteinsgesellschaft, die nach den bisherigen Erfahrungen häufig zusammen vorkommt und geologisch wie petrographisch zusammengehört. Diese alte Erfahrung wird auch durch die vorliegende Untersuchung bestätigt und durch den Nachweis gemeinsamer Züge bei den Vertretern derselben Mineralgattungen in den verschiedenen Gesteinsarten verstärkt.

So sind die rhombischen Pyroxene im Peridotit, im Pyroxenit wie im Gabbro und Norit ausgezeichnet durch die zarten linealförmigen perthitischen Einlagerungen von monoklinem Pyroxen, die ich von solcher beinahe submikroskopischer Feinheit selten gesehen habe.[2])

Zugleich entbehren sie alle der sonst so häufigen braun schillernden mikroskopischen Einschlüsse parallel der Querfläche, welche sowohl den eisenarmen, dem Enstatit nahestehenden Bronziten der Peridotite und Pyroxenite als den dunklen Hypersthenen im Gabbro und Norit fehlen.

Durch weitgehende Übereinstimmung sind auch die Plagioklase der feldspatführenden Gesteinsabänderungen ausgezeichnet. Von dem normalen Bild der Gabbro-Plagioklase, wie es jeder Petrograph zum Beispiel von den schlesischen oder Harzer Gabbrotypen kennt, weichen diese Plagioklase recht beträchtlich ab; namentlich ist die Seltenheit des Karlsbader Zwillingsgesetzes, die Häufigkeit der Zwillingsbildung nach dem Periklingesetz mit den gegen die Spaltrisse nach P unter einem spitzen Winkel geneigten Zwillingslamellen hervorzuheben. Auch fehlen ihnen die dunklen schillernden, mikrolithischen Einschlüsse.

---

[1]) Vgl. über das Verhältnis von Pyroxen und Amphibol. F. Becke, Min. petr. Mitt. 16. 327, 1897.

[2]) Diese übrigens bei Harzburgiten und Lherzolithen sehr verbreitete Erscheinung ist in einer Abbildung von Lacroix in Mineralogie de la France, Bd. I, p. —. Fig. — gut dargestellt.

Ein letzter gemeinsamer Zug ist die Seltenheit und geringe Verbreitung von Erzgemengteilen, die durch die ganze Differentiationsreihe hindurchgeht. Der dunitartige, mit Chromit angereicherte Olivinfels von Kodra Lužs fällt als Ausnahme auf. Für die Aussicht, technisch brauchbare Erzlagerstätten von Chromerzen anzutreffen, ist diese allgemeine Armut an Erzpartikeln entschieden ungünstig.

3. Variation der Gemengteile.

Zunächst sei aufmerksam gemacht auf den Wechsel im Mischungsverhältnis der Eisen- und Magnesiaverbindungen, der sich aus der optischen Untersuchung der rhombischen Pyroxene ergibt.

Rhombischer Pyroxen.	Mol. Proz. $FeSiO_3$
im Harzburgit von Lužs 2971	16
im Pyroxenit Bitüči Ost 2975	20
im Pyroxenit Godenj, Čafa Prousit 2986	18
im Hypersthen-Gabbro Bitüči 2977	43

Je reicher das Gestein an femischen Gemengteilen, desto ärmer an der Eisenverbindung ist die isomorphe Mischung des rhombischen Pyroxens. Dies ist ganz im Einklang mit der Studie von Amalie Weich[1]), welche gezeigt hat, daß der durchschnittliche Gehalt an Eisensilikat in der Mischung rhombischer Pyroxene in dem Maß abnimmt, als der Projektionspunkt, der die mittlere Zusammensetzung des Gesteins im Osann'schen Dreieck darstellt, dem Eckpunkt *F* näherrückt. Im vorliegenden Falle zeigt sich dieses Verhältnis sehr klar ausgesprochen bei Gesteinsabarten, die demselben geologischen Körper angehören.

Dieser Fall ist offenbar nur ein Einzelfall einer weit allgemeineren Gesetzmäßigkeit, welche ich 1912 bei der Besprechung der chemischen Analysen alpiner Gesteine[2]) hervorgehoben habe, wonach das Verhältnis von Mg : Fe sich mit der Gesamtzusammensetzung des Gesteins gesetzmäßig derart verschiebt, daß Mg gegenüber Fe wächst, wenn man in einer zusammengehörigen Gesteinsreihe vom *A*-Pol zum *F*-Pol des Osann'schen Dreieckes vorschreitet. Ähnliche Formulierungen finden sich bei Harker.[3])

Am monoklinen Pyroxen, Diallag sind die Verschiedenheiten geringfügiger. In den Pyroxeniten zeigt sich ein Diallag, der augenscheinlich in seiner Orientierung dem Diopsid ziemlich nahe steht:

Nr. 2975 Bitüči Ost Pyroxenit $c\gamma = 40°$, $2V\gamma = 58°$, $\gamma - \alpha = 0{\cdot}029$

Nr. 2986 Godenj, Čafa Prousit, Pyroxenit $c\gamma = 39°$, $2V\gamma = 56°$, $\gamma - \alpha = 0{\cdot}028$.

Davon ist der des Gabbro wenig verschieden:

Nr. 2977 Mittel Bitüči Gabbro $c\gamma = 40°$, $2V\gamma = 54°$, $\gamma - \alpha = 0{\cdot}027$

Die Verkleinerung des Achsenwinkels könnte auf Beimischung des monoklinen Enstatit-Augits gedeutet werden.

Viel mannigfaltiger erweist sich die Hornblende, wie folgende Zusammenstellung erkennen läßt:

Nr. 2975	Bitüči Ost Pyroxenit	$c\gamma = 15{\cdot}5°$,	$2V\alpha = 78°$,	$\gamma - \alpha = 0{\cdot}027$	farblos
Nr. 2986	Godenj Pyroxenit	$c\gamma = 15°$,	$2V\alpha = 87°$,	$\gamma - \alpha = 0{\cdot}024$	blaßgrün
Nr. 2977	Mittel Bitüči Gabbro	$c\gamma = 15°$,	$2V\alpha = 78°$		sehr blaßgrün
Nr. 2981	Babai Boks Diorit	$c\gamma = 15°$,	$2V\alpha = 76°$,	$\gamma - \alpha = 0{\cdot}024$	dunkler grün, deutlich pleochroitisch
Nr. 2979	» » »	$c\gamma = 18-19°$,	$2V\alpha = 98°$,	$\gamma - \alpha = 0{\cdot}022$	sehr blaßgrün.

[1]) Amalie Weich: Verhältnis von $FeSiO_3$ der rhombischen Pyroxene in Erstarrungsgesteinen. Min. petr. Mitt. 32. 423. 1914.

[2]) F. Becke: Chemische Analysen von krystallinen Gesteinen aus der Zentralkette der Ostalpen. Denkschr. d. Kais. Akad. d. Wissensch. Bd. 75, I., p. 215, 223. 1912.

[3]) Dr. Alfred Harker: Natural History of igneous rocks. London. 1909.

Die erste und dritte Nummer entspricht dem Strahlstein; trotz ziemlich dunkelgrüner Körperfarbe erscheint das Mineral im Dünnschliff beinahe farblos. Pleochroismus ist kaum wahrnehmbar. Auch die Dispersion ist unmerklich. Die dunkler grüne Hornblende des Diorits 2981 ist typische gemeine Hornblende mit ausgesprochenem Pleochroismus in grünen Farben. Bemerkenswert ist die Verkleinerung des Winkels der optischen Achsen um α.

Die Nummern 2986 und 2979 stellen Glieder einer Reihe dar, die durch Zunahme des PH_2O_3 haltigen Pargasit-Silikates gedeutet werden kann. Lichte Färbung, Abnahme der Doppelbrechung, Vergrößerung des Winkels der optischen Achsen bis über 90° hinaus sind die Merkmale. Auch die Hornblende des Uralit-Gabbro 2978 Bitüči-Ost dürfte in diese Reihe gehören.

Ein wichtiges Resultat der optischen Untersuchung ist, daß keine Anzeichen für Alkali-Eisen-Pyroxene oder Amphibole gefunden wurden. Dies ist mit dem Gesamtcharakter der untersuchten Gesteine in Einklang, harmoniert auch mit dem an Anorthitsubstanz reichen Plagioklas, ist aber umsomehr hervorzuheben, als in manchen Gebieten der Balkanhalbinsel und deren Umgebung Glaukophangesteine eine wichtige Rolle spielen. Es sei nur erinnert an die Glaukophangesteine der Kykladen (Syra), Rhodus, Thessalien, Euboea, Fruskagora, an die Riebeckitgesteine der Dobrudscha.

4. Umwandlungen. Serpentin, Bastit, Chrysotil, nephritische Hornblende.

In den Peridotiten kann man in seltener Deutlichkeit die seit Tschermak's ausgezeichneter Darstellung oft beschriebene Umwandlung in Maschenserpentin beobachten. Sie ist ganz wesentlich an den Olivingehalt der Gesteine geknüpft. Der Maschenserpentin, der sich am Rande und auf den Sprüngen der Olivinkörner absetzt, zeigt stets Faserung senkrecht zur Oberfläche des sich umwandelnden Olivins, unabhängig von der krystallographischen Orientierung seines Muttterminerals und hat in der Faserrichtung die Schwingungsrichtung α. Hie und da dringt dieses Mineral bei beginnender Umwandlung auch in Klüftchen benachbarter Durchschnitte von Bronzit, Diallag, Picotit ein.

In der oft erkennbaren Mittellinie der Balken von Maschenserpentin ist manchmal Magnetit ausgeschieden, ohne daß sich nachweisen ließe, daß der Olivin in diesen Gesteinen eisenreicher wäre. Es scheint wohl auf die Begleitumstände anzukommen, ob Magnetit durch teilweise Oxydation gebildet wird oder ob der ganze Eisengehalt in den Serpentin aufgenommen wird.

Die Felder zwischen diesen zuerst entstandenen Netzbalken, welche bei fortschreitender Serpentinisierung an Stelle der Kornreste von Olivin treten, zeigen weniger Regelmäßigkeit in der Stellung der Fasern. Das rührt zum Teil davon her, daß die Schnittrichtung, in der die Fasern getroffen werden, größeren Schwankungen unterliegt, zum Teil mag hier die Struktur überhaupt weniger regelmäßig sein. Oft verhalten sich diese Felder pseudoisotrop.

Mit einer einzigen Ausnahme (vgl. p. 9 [377]) wurde Antigorit in den von v. Kerner mitgebrachten Gesteinen nicht wahrgenommen, obwohl er in den alpinen Serpentinen so verbreitet ist, und auch in Thessalien vorkommt.[1]

Neben dieser Serpentinbildung aus Olivin entsteht auch aus dem Bronzit eine Serpentinart: der Bastit. Zum Unterschied vom Maschenserpentin ist der Bastit in der Hauptsache immer homoax zu seinem Muttermineral gestellt; die Fasern laufen parallel zur c-Achse der Bronzitindividuen, und in der Faserrichtung liegt die Schwingungsrichtung γ, also parallel mit der Orientierung des rhombischen Pyroxens. Der Bastit ist merklich stärker doppelbrechend als der Maschenserpentin. Merkliche Unterschiede der Lichtbrechung habe ich nicht bemerkt.

Übrigens entsteht aus dem Bronzit häufig auch Talk und Faserhornblende.

Verschieden von diesen beiden Serpentinarten ist der Chrysotil,[1] dessen parallelfaserige Adern die Serpentine manchmal in Gestalt eines unregelmäßigen Netzwerkes, manchmal in großer Zahl

[1] F. Becke, Gesteine von Griechenland, Min. petr. Mitt., I, 461.

parallel durchziehen. Beim Chrysotil beobachtet man stets γ in der Faserrichtung und eine merklich schwächere Lichtbrechung im Vergleich mit Maschenserpentin und Bastit. Der Brechungsexponent γ des Chrysotil unterscheidet sich nur wenig von dem Brechungsexponent der anderen Serpentinarten, wohl aber ist sein α beträchtlich niedriger, wenngleich immer noch höher als der Brechungsindex von Kanadabalsam.

Der Chrysotil scheint eine jüngere Bildung zu sein, welche durch Lösungsumsatz auf Klüften des Maschenserpentins entsteht, ähnlich wie die Quarzadern in einem Kieselschiefer. Den Chrysotiladern fehlt die Erzbegleitung.

Der »glasige Serpentin« erweist sich als ein recht inhomogenes Gebilde, in welchem eine dem Chrysotil ähnliche Modifikation mit anderen Serpentinarten gemischt ist. (Vgl. p. 14 [382]. Ich möchte nicht wagen, das Mineral mit einer der früher aufgestellten Varietäten (Metaxit, womit es Ähnlichkeit zu haben scheint, oder Pikrolith) zu identifizieren. Die ganze Gruppe scheint einer neuerlichen Durcharbeitung zu bedürfen.

Neben, zum Teil auch statt der Serpentinbildung tritt eine Neubildung feinfaseriger Hornblende auf, die homoaxe Pseudomorphosen (Uralit) nach beiden Pyroxenen bildet, aber auch vielfach in eisblumenähnlichen büschelig faserigen oder wirrfaserigen Aggregaten sich im Gestein ausbreitet und mikroskopische Bilder, ähnlich denen des Nephrit liefert. Diese Art der Neubildung ist von M. Reinhard auch in Gesteinen aus der Merdita öfter beobachtet worden.

Es wäre nicht unmöglich, daß in dem albanischen Peridotit gelegentlich auch echter Nephrit gefunden würde. Namentlich die Umgebung der Feldspatführenden Gesteine wäre daraufhin zu untersuchen. Manche Erscheinungen sprechen dafür, daß Plagioklase als Lieferer des Ca für die Hornblendebildung in Betracht kommen.

---

[1] Daß dem Chrysotil wahrscheinlich eine andere chemische Konstitution zukommt als den anderen Serpentinarten, zeigte Silvia Hillebrand, Sitzber. d. Wiener Akad. d. Wiss., Bd. 115, Abt. 1, 1906. Hier wurde auch schon das niedrigere spezf. Gewicht, die niedrigere Lichtbrechung und höhere Doppelbrechung nachgewiesen. Unter den dort untersuchten Serpentinarten scheint aber der Maschenserpentin mit α in der Faserrichtung nicht vertreten zu sein. Wenn M. Reinhard bei der petrographischen Beschreibung von Gesteinen aus Mittelalbanien das Vorkommen von in Chrysotil umgewandeltem Olivin in einem Olivingabbro von Merdita und einem »Dunit« von Čafa Pleps angibt, so wäre wohl noch zu entscheiden, ob es sich hier um Chrysotil handelt. Über die Orientierung der Faserserpentine macht M. Reinhard keine Angaben (Anuarul Institutului Geologic al României, Vol. V, p. 21 u. 22, 1911.)

Ich möchte noch hervorheben, daß die Unterscheidung von Maschenserpentin mit α in der Faserrichtung und Chrysotil mit γ in der Faserrichtung sich in einem Manuskript über die Gesteine des Dunkelsteiner Waldes von Hermann Tertsch aus dem Jahre 1916 findet, welches nur der Kriegsverhältnisse wegen in den Mineralogisch-petrographischen Mitteilungen noch nicht abgedruckt wurde.

ÜBER DIE GRUNDLAGEN DER STATISTISCHEN MECHANIK

VON

ARTHUR SZARVASSI

MIT 5 TEXTFIGUREN

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 7. MÄRZ 1918

Es leidet keinen Zweifel, daß gegenwärtig molekulartheoretische Untersuchungen einer sicheren Grundlage entbehren. Der Satz von der gleichen Verteilung der Energie auf die Freiheitsgrade (equipartition of energy), den die statistische Mechanik gefordert hat, scheint in wichtigen Anwendungen auf Widerspruch mit der Erfahrung zu stoßen. Die Quantenhypothese, die in diesen Fällen an dessen Stelle gesetzt wird, enthält, so bestrickend ihre großen Erfolge sein mögen, doch eine für viele Forscher allzukühne Grundannahme. Überdies beseitigt sie das logische Unbehagen nicht, welches seine Wurzel in dem Umstande hat, daß wir nicht wissen, ob der Äquipartitionssatz aus den Grundlagen der statistischen Mechanik denknotwendig folgt oder nicht. Wäre das erstere der Fall, so dürften wir ihn nicht verwerfen, ohne die Grundlagen der statistischen Mechanik, welche auch jene der Quantentheorie sind, zugleich aufzugeben. Der bisherige Beweis des Satzes muß als mißlungen gelten, seitdem die Existenz ergodischer Systeme, welche zu seinen Voraussetzungen gehört hat, als logisch unmöglich erwiesen ist.

Es scheint mir, daß ein Klärungsversuch wenn er Aussicht auf Erfolg haben soll, tief greifen muß; denn die Wurzel des Übels liegt in der Methode, deren sich die statistische Mechanik bedient hat. Die Statistik befaßt sich mit dem Abzählen gleichartiger Dinge und ihr mathematisches Hilfsmittel sind die ganzen Zahlen. Auf diese einfache Wahrheit hat die statistische Mechanik mehr und mehr vergessen. Vielmehr hat sie durch eine gewisse Supposition das Problem auf ein Gebiet hinübergeleitet, welches ihm wesensfremd ist: die stetigen Veränderungen einer stetig ausgedehnten Menge. Schon die klassischen Schriften Maxwell's und Boltzmann's über kinetische Gastheorie enthalten den methodischen Fehler, aus dem die gegenwärtige schwierige Lage der statistischen Mechanik herausgewachsen ist. Aber zu prinzipieller Bedeutung ist er erst in der großen Arbeit Maxwell's gelangt, welche man als Grundlegung der Disziplin ansehen kann.[1] Er besteht rein formal gesprochen darin, daß die im Volumelemente $d\omega = dx\,dy\,dz$ enthaltene Zahl von Molekülen in der Form $f(x, y, z)\,d\omega$ dargestellt wird und daß man integriert, indem man f als stetige Funktion von x, y, z ansieht. Dies aber heißt: Man setzt die Zahl der Moleküle weder endlich noch abzählbar

[1] On Boltzmann's Theorem on the average distribution of energy in a system of material points; Scient. papers, vol. II, p. 713.

unendlich, sondern man gibt ihr die Mächtigkeit des Continuums. So naheliegend und elegant es zu sein scheint, für die »Dichte« einer endlichen diskreten Punktmenge jene einer kontinuierlichen Flüssigkeit zu setzen, so gefährlich wird die Unterschiebung, wenn man nicht bei jedem Schritte die Tragweite der begangenen Vernachlässigung abschätzt. Offenbar hatte sich der Ansatz durch die in den Berechnungen der kinetischen Gastheorie ohne sichtbaren Schaden geübte Gepflogenheit, die Zahl der Moleküle nicht nur im ganzen, sondern auch noch in jedem Volumelement unendlich groß anzunehmen, als unschuldig dargestellt; aber er ist es nicht, weil sich auch eine unendlich große Zahl von Einzeldingen auf eine stetige Menge nicht abbilden läßt. Daß ein Bedenken gerade dieser Art nicht eine müßige Subtilität ist, erkennt man, wenn man bedenkt, daß es ein Irrtum ganz ähnlicher Art war, welcher Maxwell und Boltzmann an die Existenz ergodischer Gassysteme hat glauben lassen.[1] In der prinzipiellen Vermeidung dieses Fehlers erblicke ich zugleich die methodische Bedeutung und das eigentliche Wesen der Planck'schen Quantentheorie. Wenn man will, kann man daher die vorliegende Arbeit als einen bescheidenen Versuch ansehen, statistische Mechanik und Quantentheorie miteinander zu versöhnen und das Unsterbliche der letzteren von ihrer sterblichen Hülle loszulösen.

Im folgenden wird der Versuch gemacht, die statistische Mechanik anders aufzubauen, als dies üblich ist. Es handelt sich um die Statistik der Verteilung von physikalischen — im besonderen mechanischen — Systemen in ihrem Phasenraume; man hat es also immer mit schlichtem Abzählen einer endlichen Menge von Dingen zu tun.[2] Dementsprechend erscheinen, wo sonst Integrale aufgetreten sind, bloß Summen, welche nur in besonderen Fällen durch Integrale approximiert werden; und keine ideelle Flüssigkeit illustriert durch ihre Bewegung die statistischen Gesetze der Gesamtheit. Nunmehr zeigt sich, daß ein Gleichverteilungssatz der Energien wirklich besteht, aber keinen Widerspruch mehr mit der Erfahrung aufweist. Natürlich war es nötig, zum Zwecke der Anwendung auf thermische Vorgänge einen Ersatz für die Ergodenhypothese zu schaffen; ich hoffe, daß mir dies durch die Annahme der Existenz »ergozonaler« Gesamtheiten in zufriedenstellender Weise gelungen ist. Daß es sich bei der hier versuchten Umgestaltung der statistischen Mechanik nicht bloß um den Luftbereich höchster Abstraktion handelt, zeigt sich an einigen gewonnenen Ergebnissen; so wird das Planck'sche Strahlungsgesetz ohne die Annahme quantenhafter Emission der Energie abgeleitet; auch gelingt es, unter Zugrundelegung der einfachen Einstein'schen Voraussetzung ein von dem seinigen verschiedenes Gesetz für die Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wärme fester Körper zu finden, das gut mit der Erfahrung stimmt. Aber als die vielleicht interessanteste und, von einem mehr philosophischen Standpunkt aus betrachtet, wichtigste Frucht der nachfolgenden Überlegungen möchte ich die Tatsache betrachten, daß die Quantentheorie jetzt in einem neuen Lichte erscheint, indem sie sich der allgemeinen statistischen Mechanik einordnet. Ich glaube dem glücklichen Funde Planck's nichts an Bedeutung zu nehmen, wenn ich seinem »Wirkungselement« eine ganz andere physikalische Bedeutung zuschreibe als er es tut.

Der erste Teil der nachfolgenden Untersuchungen ist rein formal und ohne physikalischen Inhalt; dieser wird erst im zweiten Teil in die im ersten bereitete Form gegossen; dieser Teil stellt also das Gerippe einer statistischen Mechanik dar. Der dritte gibt einige Anwendungen.

---

[1] Ergodische Systeme sind deshalb unmöglich, weil die Menge von Zuständen, die ein energetisch abgeschlossenes mechanisches System im Laufe der Zeit wirklich annimmt, von anderer Mächtigkeit ist als jene, welche es bei konstanter Energie annehmen könnte. (A. Rosenthal, Ann. d. Phys. 42, p. 79; M. Plancherel, Ann. d. Phys. 42, p. 1061.)

[2] Der Name »statistische Mechanik« ist vielleicht etwas irreführend; das Wesentliche an diesem Gebiete der Physik ist die Methode der Statistik, während die Anwendung der Hamilton'schen Gleichungen der Mechanik sich eigentlich auf die Ableitung des Liouville'schen Satzes beschränkt.

I. Teil.

1.

Es sei ein Kollektivgegenstand von N Punkten gegeben, welche in einem von einer geschlossenen Fläche begrenzten Teil des Raumes irgendwie angeordnet sind. Um diese Anordnung zu beschreiben, brauchte man nur ein Koordinatensystem zu legen und die drei Koordinaten eines jeden Punktes anzugeben. Man wünscht dies aber nicht zu tun, zum Beispiel weil die Zahl N so groß ist, daß bei dieser Methode jede Übersicht verloren ginge; sondern man will »statistisch« vorgehen, d. h. durch bloßes Abzählen die »Dichte«, mit der die Punkte an den verschiedenen Stellen des Raumes verteilt sind, finden. Man nimmt sich also den Grenzfall zum Muster, wenn die Zahl der Punkte in jedem noch so kleinen Raumteil unendlich groß ist, dieselben also überall dicht liegen und man wirklich exakt von einer »Verteilungsdichte« an jeder Raumstelle sprechen kann. In unserem Falle läßt sich diese Methode nur in einer Weise anwenden: man teilt den gegebenen begrenzten Raum in irgendeine Zahl n gleicher »Zellen« und gibt an, wie viele Punkte in jeder Zelle liegen. Die Angabe dieser Zahlen gibt uns ein Bild von der Verteilung der Punkte mit einer Genauigkeit, die ganz von der Zahl der Zellen und jener der Punkte abhängt. Ein ähnlicher Vorgang tritt ja bei der Herstellung jeder statistischen Zusammenstellung ein. So ordnet man z. B. bei der Herstellung einer Rekrutentafel die Rekruten nach dem Argument der Körperlänge und, indem man das Argument etwa nach ganzen Zentimetern fortschreiten läßt, gibt man an, wieviel Rekruten in jedes Intervall hineinfallen. In diesem Falle ist der »Raum« der eindimensionale der Körperlänge, in welchem die Rekruten als »Punkte« zu verteilen sind und die »Zellen« haben die Größe eines Zentimeters. Wir wollen in Zukunft die Punkte die »Elemente« der Verteilung nennen.

Die Angabe einer bestimmten Verteilung besteht also in der Angabe der Zahl der Elemente, welche in den einzelnen Zellen, die wir uns etwa von 0 bis $n-1$ numeriert denken können, vorhanden sind. Da es nun nur auf die Zahl der Elemente in jeder Zelle, hingegen nicht darauf ankommt welches Element gerade in einer bestimmten Zelle liegt, so kann die betrachtete Verteilung in vielen verschiedenen Arten hergestellt werden. Die Zahl dieser Anordnungen von Elementen, welche alle dieselbe Verteilung ergeben, ist leicht zu berechnen.[1] Nennt man x_λ die Zahl der Elemente, welche sich in der $\lambda+1$ten Zelle befinden, so beträgt die gesuchte Zahl

$$z = \frac{N!}{x_0!\,x_1!\ldots x_{n-1}!}.$$

Es ist klar, daß bei der Untersuchung einer großen Zahl von Verteilungen eine solche sich häufiger vorfinden wird, welcher eine größere Zahl z von dieser Verteilung günstigen Anordnungen der Elemente entspricht. Die Zahl z ist also ein Maß für die »Wahrscheinlichkeit« einer Verteilung, d. h. für die Häufigkeit ihres Vorkommens. Wir wollen den Ausdruck für z in bekannter Weise mittels der Stirling'schen Formel

$$\lim_{r=\infty} r! = \sqrt{2\pi r}\left(\frac{r}{e}\right)^r$$

umwandeln, um den Teil des Ausdrucks, der bei konstanten N, n die Verteilung bestimmt, zu weiterer

[1] S. z. B. Boltzmann, Vorlesungen über Gastheorie, I, § 6.

Verwendung herauszuschälen. Zu diesem Zwecke sei nunmehr vorausgesetzt, daß jedes x_λ, also a fortiori N eine große Zahl sei, derart, daß man für den angestrebten Genauigkeitsgrad

$$x_\lambda! \text{ ersetzt durch } \sqrt{2\pi x_\lambda}\left(\frac{x_\lambda}{e}\right)^{x_\lambda}$$

oder, weil unter dieser Voraussetzung log x_λ neben x_λ vernachlässigt werden kann,

$$x_\lambda! \text{ ersetzt durch } \left(\frac{x_\lambda}{e}\right)^{x_\lambda},$$

und analog $N!$ ersetzt durch $\left(\frac{N}{e}\right)^N$.

Es wird dann

$$z = \frac{N^N}{x_0^{x_0} x_1^{x_1} \ldots x_{n-1}^{x_{n-1}}} = N^N e^{-K}$$

wo

$$K = \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} x_\lambda \lg x_\lambda .$$

Dabei ist natürlich

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} x_\lambda = N.$$

Führt man an Stelle von x_λ die Verhältniszahl

$$\frac{x_\lambda}{N} = w_\lambda$$

ein, so daß

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} w_\lambda = 1,$$

so wird

$$z = e^{-N\Theta} \tag{A}$$

und

$$\Theta = \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} w_\lambda \lg w_\lambda .$$

Der Begriffsbildung von der Wahrscheinlichkeit einer Verteilung liegt, wie jeder Wahrscheinlichkeitsbetrachtung, eine wesentliche Voraussetzung zugrunde, nämlich die, daß a priori alle Verteilungen gleich möglich sind. Dies ist bei dem rein geometrischen Problem, das uns jetzt beschäftigt, selbstverständlich, es ist dies aber durchaus nicht mehr bei den späteren physikalischen Anwendungen, bei welchen die hier betrachteten Punkte nur Repräsentanten physikalischer Zustände sind. Wir können die genannte Voraussetzung so formulieren: Die Lage eines Punktes im Raume stellt ein Ereignis dar, welches von der Lage der übrigen Punkte gänzlich unabhängig ist. Wäre dies nämlich nicht der Fall, so ließen sich gewisse Verteilungen gar nicht herstellen.

Natürlich kann man genau dieselben Überlegungen auch anstellen, wenn der betrachtete Raum nicht der wirkliche, sondern ein »Zustandsraum« ist, die Koordination eines Punktes also nicht räumliche Distanzen, sondern irgendwelche drei unabhängige Veränderliche bedeuten. Eine bestimmte Stelle in diesem »Raume« entspricht dann einem bestimmten Wertesystem der drei unabhängigen Veränderlichen und die Anordnung der Elemente in diesem Raume einer bestimmten Zuordnung der

N Elemente zu N herausgegriffenen Wertetripeln der unabhängigen Veränderlichen. So hat Boltzmann in bekannter Weise den »Geschwindigkeitsraum« benutzt, dessen Koordinaten die drei Komponenten des Vektors der Geschwindigkeit bedeuten, in welchem Gasmoleküle als Elemente einzuordnen sind. Es ist aber weiter klar, daß die angestellten rein formalen Überlegungen auch von der Dimension des Raumes unabhängig sind, daß man dieselben ebensogut für die zweidimensionale Ebene, wie für einen Raum von vier Veränderlichen anstellen könnte. Wesentlich ist nur, daß ein bestimmter Raumteil abgegrenzt wird, in welchem die Einordnung der Elemente zu vollziehen ist. Wir wollen den folgenden Untersuchungen einen allgemeinen Raum von r Dimensionen zugrunde legen.

2.

Zwei besonders wichtige Fälle sollen bei unserem Verteilungsproblem herausgegriffen werden:

1. Es sei bei der Anordnung der Elemente im Zustandsraume keine andere Bedingung vorgeschrieben, als die selbstverständliche, daß die Summe aller Elemente stets N sein muß oder

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} w_\lambda = 1. \tag{I}$$

In diesem Falle unterliegt von vornherein auch die Einteilung des Raumes in Zellen gar keiner Einschränkung, also im besonderen keiner hinsichtlich der Form derselben. Wollen wir zum Beispiel die Verteilung von N Punkten in einem von einem Kreise eingeschlossenen Stück der Ebene studieren, so können wir die Kreisfläche ebensowohl in n flächengleiche Sektoren teilen, welche uns als Zellen dienen sollen, wie in n gleiche Ringflächen; beide Zellenteilungen sind gleich gut.

2. Es sei die Verteilung außer der Bedingung I) noch einer Bedingung folgender Art unterworfen: Es sei eine Funktion $\mathrm{H}(\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_r)$ der r Koordinaten $\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_r$ des Zustandsraumes gegeben von folgender Eigenschaft: Bildet man die Funktionswerte für alle jene Stellen des Raumes, an denen Elemente liegen, so soll stets — das heißt bei jeder Verteilung der Elemente — die Summe der Funktionswerte denselben Wert E ergeben. In dieser Form können wir nun freilich die Bedingung nicht ansetzen. Denn infolge der statistischen Natur unserer Überlegungen sind uns nicht die Koordinaten jedes einzelnen Elementes gegeben, sondern nur die Zahl der Elemente in jeder Zelle; die rohere Art der Betrachtung macht gleichsam aus allen Elementen einer Zelle ein einziges Individuum. In logischer Konsequenz dieser Behandlungsweise werden wir auch die verschiedenen Werte, welche die Funktion $\mathrm{H}(\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_r)$ für die Elemente einer Zelle besitzt, in einen einzigen Wert zusammenwerfen, also so tun, als ob allen Elementen der λ^{ten} Zelle derselbe Funktionswert $\mathrm{E}_{\lambda-1}$ zugehörte und die genannte Bedingung daher folgendermaßen ansetzen: Es sei für jede Verteilung

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} x_\lambda \mathrm{E}_\lambda = \mathrm{E}$$

oder

$$N \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} w_\lambda \mathrm{E}_\lambda = \mathrm{E}. \tag{II}$$

E_λ ist ein Mittelwert aller Funktionswerte H, welche in der Zelle vorkommen. In welcher Weise dieser definiert wird, muß natürlich angegeben werden; eine Erörterung über verschiedene Möglichkeiten dieser Definition folgt später (siehe § 4).

Es ist aber klar, daß diese Formulierung zur Voraussetzung hat, daß man wirklich mit demselben Grad von Genauigkeit, welcher der ganzen statistischen Berechnungsweise innewohnt, die verschiedenen Funktionswerte innerhalb einer Zelle durch einen einzigen Mittelwert E_λ ersetzen kann, daß also in der Zelle nicht Punkte mit allzu verschiedenen Funktionswerten vorkommen; dies

aber bedeutet eine wesentliche Beschränkung der Freiheit in der Konstruktion der Zelleneinteilung. Machen wir uns diesen Umstand zunächst an einem einfachen Beispiele klar.

Man bestimme die möglichen Verteilungen von N Massenpunkten der gleichen Masse m innerhalb eines Kreises in der Ebene unter der Bedingung, daß jede Verteilung dasselbe Trägheitmoment T bezüglich einer durch den Mittelpunkt normal zur Ebene gehenden Achse aufweise. Sind also ξ_1, ξ_2 die Koordinaten eines Massenpunktes, so ist in unserem Falle die Funktion

$$\mathrm{H}(\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_r) = m(\xi_1^2 + \xi_2^2).$$

In welcher Weise ist nun die Kreisfläche in Zellen zu teilen, damit die Bedingung in der Form II)

$$N \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} w_\lambda T_\lambda = T,$$

wo T_λ das »mittlere Trägheitsmoment eines Punktes der $\lambda + 1^{\text{ten}}$ Zelle« bedeutet, aufgestellt werden könne? Die oben erwähnte Einteilung in Kreissektoren entspräche dieser Forderung sicherlich nicht, weil in jeder Zelle Massenpunkte vereinigt wären, deren Trägheitsmomente alle Werte vom kleinstmöglichen bis zum größtmöglichen aufweisen würden. Die einzig mögliche Zelleneinteilung ist vielmehr die in flächengleiche Kreisringe vermittelst konzentrischer Kreise, und zwar deshalb, weil sich nur in diesem Falle bei fortschreitender Vermehrung der Zellenzahl und Zahl der Massenpunkte das mittlere Trägheitsmoment T_λ einer Zelle einer bestimmten Grenze nähern würde. Das Problem ist eben kein anderes, als das bei der gewöhnlichen Berechnung des Trägheitsmomentes der Kreisfläche mit Hilfe eines bestimmten Integrals auftretende, die geeigneten Integrationsvariabeln zu finden.

Man erkennt sogleich, daß allgemein eine Zelleneinteilung, welche die Aufstellung der Bedingung II) ermöglicht, nur erreicht wird durch Konstruktion der Hyperflächenschar

$$\mathrm{H}(\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_r) = \text{konst.}$$

Eine Zelle wird begrenzt durch zwei benachbarte Flächen dieser Schar, eventuell noch durch Stücke der Berandung. Ein geometrisch besonders einfacher Fall liegt vor, wenn — wie in dem eben angeführten Beispiel — die Berandung des Raumes selbst eine Fläche der Schar ist.

3.

Wir stellen uns nun das Problem, jene Verteilung der Elemente zu finden, welche am häufigsten vorkommt, also die »wahrscheinlichste« ist. Bei der Lösung dieses Problems müssen wir jedoch die beiden Fälle, die wir im vorigen Paragraphen unterschieden haben, gesondert behandeln.[1]

1. Es wird die Verteilung gesucht, für welche z ein Maximum ist, wenn gleichzeitig die Bedingung I) besteht. Das heißt, man suche jene Zahlen w_λ, für welche

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} w_\lambda \lg w_\lambda = \text{Minimum}$$

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} w_\lambda = 1\,.$$

Die Lösung wird geleistet durch die folgenden zwei Gleichungen für die Variationen δw_λ:

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} (\lg w_\lambda + 1)\,\delta w_\lambda = 0. \qquad \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \delta w_\lambda = 0.$$

[1] Vergl. hier und an einigen folgenden Stellen das schöne Buch von Jeans: The dynamical theory of gases.

Diese beiden Gleichungen werden in bekannter Weise in eine einzige zusammengezogen, indem man die zweite mit einem noch unbestimmten Faktor $\varkappa$ multipliziert und zur ersten addiert:

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} (\lg w_\lambda + 1 + \varkappa)\, \delta w_\lambda = 0.$$

Aus dieser Gleichung, welche für beliebige Werte der δw_λ bestehen soll, folgt mit Notwendigkeit

$$\lg w_\lambda + 1 + \varkappa = 0 \qquad (\lambda = 0, 1, 2 \ldots n-1)$$

oder

$$w_\lambda = e^{-(1+\varkappa)},$$

also konstant.

Der Wert der Konstanten folgt aus I), nämlich

$$w_\lambda = \frac{1}{n}. \tag{1}$$

2. Man finde die häufigste Verteilung, wenn gleichzeitig die Bedingungen I) und II) zu erfüllen sind. Das heißt, es sind die w_λ zu bestimmen aus

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} w_\lambda \lg w_\lambda = \text{Minimum}$$

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} w_\lambda = 1, \quad N \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} w_\lambda \mathrm{E}_\lambda = \mathrm{E}.$$

Für die δw_λ gibt dies die drei Gleichungen

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} (\lg w_\lambda + 1)\, \delta w_\lambda = 0, \quad \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \delta w_\lambda = 0, \quad \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \mathrm{E}_\lambda \delta w_\lambda = 0;$$

und wenn man die zweite und dritte respektive mit den unbestimmten Konstanten $\varkappa, \mu$ multipliziert und zur ersten addiert, erhält man

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} (\lg w_\lambda + 1 + \varkappa + \mu \mathrm{E}_\lambda)\, \delta w_\lambda = 0,$$

das heißt

$$\lg w_\lambda + 1 + \varkappa + \mu \mathrm{E}_\lambda = 0.$$

Führt man also die Konstante

$$a = e^{-(1+\varkappa)}$$

ein, so wird

$$w_\lambda = a\, e^{-\mu \mathrm{E}_\lambda} \qquad (\lambda = 0, 1, 2 \ldots n-1). \tag{2}$$

Die noch unbekannten Konstanten a, μ sind aus I) und II), das heißt aus den beiden Gleichungen

$$a \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-\mu \mathrm{E}_\lambda} = 1 \tag{3}$$

$$N a \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \mathrm{E}_\lambda e^{-\mu \mathrm{E}_\lambda} = \mathrm{E} \tag{4}$$

zu bestimmen. Aus diesen Gleichungen sind nun freilich a und μ nicht explizit darzustellen, wenn die Funktion $\mathrm{H}(\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_r)$ oder, was dasselbe ist, E_λ als Funktion des Index λ nicht speziell

gegeben ist. Dabei ist noch zu bemerken, daß im allgemeinen die Lösung 2) nicht die Bedingung erfüllen wird, daß Nw_λ eine ganze Zahl ist; es ist dann im Sinne der statistischen Natur des Problems an Stelle des aus 2) folgenden Wertes Nw_λ die nächste ganze Zahl substituiert zu denken.

4.

Wir wollen nunmehr auf das letzte Problem näher eingehen, indem wir die Gestalt der Funktion $H(\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_r)$ spezialisieren. Dieselbe soll eine positiv definite quadratische Form der Veränderlichen $\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_r$ sein, nämlich

$$2\,H(\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_r) = c_1\,\xi_1^2 + c_2\,\xi_2^2 + \ldots + c_r\,\xi_r^2 \qquad \text{II}\,a)$$

mit gegebenen Konstanten $c_1, c_2 \ldots c_r$. Ferner sei die den betrachteten Raumteil umschließende Fläche eine aus der Schar

$$H(\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_r) = \text{konst.}$$

und zwar speziell die Fläche

$$c_1\,\xi_1^2 + c_2\,\xi_2^2 + \ldots + c_r\,\xi_r^2 = 2\,C_n. \qquad \text{II}\,b)$$

Nun sind nach den Auseinandersetzungen des § 2 als Zellen zu wählen volumgleiche Räume, welche zwischen je zwei aufeinander folgenden Hyperellipsoidflächen

$$c_1\,\xi_1^2 + c_2\,\xi_2^2 + \ldots + c_r\,\xi_r^2 = \text{konst.}$$

liegen. Wir teilen also den von der Fläche II b) eingeschlossenen Raum in n schalenförmige Teile, indem wir die n-1 Hyperflächen

$$c_1\,\xi_1^2 + c_2\,\xi_2^2 + \ldots + c_r\,\xi_r^2 = 2\,C_\lambda \qquad (\lambda = 1, 2 \ldots n-1) \qquad 5)$$

legen und haben nun die Konstanten C_λ der Bedingung zu unterwerfen, daß alle zwischen irgend zwei aufeinanderfolgenden Flächen der Schar 5) liegenden Ellipsoidschalen dasselbe Volum haben sollen. Das Volum der λ^{ten} Schale berechnen wir als Differenz der Volumina der beiden Ellipsoide, welche bezüglich von den Flächen

$$c_1\,\xi_1^2 + c_2\,\xi_2^2 + \ldots + c_r\,\xi_r^2 = 2\,C_\lambda$$

und

$$c_1\,\xi_1^2 + c_2\,\xi_2^2 + \ldots + c_r\,\xi_r^2 = 2\,C_{\lambda-1}$$

eingeschlossen werden. Zur Bestimmung des Rauminhaltes des ersten Ellipsoids haben wir das r-fache Integral

$$\underset{c_1\,\xi_1^2 + c_2\,\xi_2^2 + \ldots + c_r\,\xi_r^2 < 2\,C_\lambda}{\int\int \overset{(r)}{\cdots} \int} d\,\xi_1\, d\,\xi_2 \ldots d\,\xi_r$$

zu berechnen; dasselbe ist ein sogenanntes Dirichlet'sches[1] und hat den Wert

$$\frac{(2\,\pi)^{r/2}}{\Gamma\left(1 + \frac{r}{2}\right)} (c_1\,c_2 \ldots c_r)^{-\frac{1}{2}}\, C_\lambda^{r/2}.$$

Analog ist das Volum des von der zweiten Hyperellipsoidfläche eingeschlossenen Raumes

$$\frac{(2\,\pi)^{r/2}}{\Gamma\left(1 + \frac{r}{2}\right)} (c_1\,c_2 \ldots c_r)^{-\frac{1}{2}}\, C_{\lambda-1}^{r/2}.$$

---

[1] Siehe z. B. Serret, Differential- und Integralrechnung, 2. Auflage, II, § 605.

Die von den beiden Flächen eingeschlossene hyperellipsoidische Schale hat also das Volum

$$\Omega_{\lambda-1} = \frac{(2\,\pi)^{r/2}}{\Gamma\left(1+\frac{r}{2}\right)} (c_1\, c_2 \ldots c_r)^{-\frac{1}{2}} (C_\lambda^{r/2} - C_{\lambda-1}^{r/2}).$$

Alle diese Schalen sollen den gleichen Rauminhalt haben; daher bestehen die Gleichungen:

$$C_1^{r/2} = C_2^{r/2} - C_1^{r/2} = C_3^{r/2} - C_2^{r/2} = \ldots = C_n^{r/2} - C_{n-1}^{r/2}.$$

Drücken wir alle C_λ durch das als bekannt anzunehmende C_n aus, so erhalten wir also

$$C_\lambda^{r/2} = \frac{\lambda}{n}\, C_n^{r/2}. \tag{6}$$

Nun ist $E_{\lambda-1}$ jener Wert der Funktion $H(\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_r)$, der allen Elementen in der λ-ten Schale gemeinsam zugeteilt werden soll. also ein Mittelwert der Funktionswerte aller Punkte innerhalb dieser Schale. Derselbe ist also insolange nicht bestimmt, als nicht gesagt ist, wie dieser »Mittelwert« berechnet werden soll. Drei Berechnungsweisen zeichnen sich durch ihre Einfachheit vor allen aus: man setze nämlich den Wert von $E_{\lambda-1}$ gleich dem Werte der Funktion H an einer der beiden die Zelle begrenzenden Schalen oder gleich deren arithmetischem Mittel, also

entweder $\quad E_{\lambda-1} = C_{\lambda-1} \quad$ oder $\quad E_{\lambda-1} = C_\lambda \quad$ oder $\quad E_{\lambda-1} = {}^1/_2\,(C_{\lambda-1} + C_\lambda)$.

Auf jeden Fall ist nach 6)

$$E_\lambda = \alpha_\lambda\, n^{-2/r}\, C_n \qquad (\lambda = 0, 1, 2 \ldots n-1), \tag{7}$$

wo α_λ je nach der getroffenen Wahl einen der drei Werte

$$\alpha_\lambda = \lambda^{2/r} \tag{8a}$$

oder

$$\alpha_\lambda = (\lambda+1)^{2/r} \tag{8b}$$

oder

$$\alpha_\lambda = \frac{1}{2}\,(\lambda^{2/r} + (\lambda+1)^{2/r}) \tag{8c}$$

haben wird. Der erste Fall ist dadurch ausgezeichnet, daß der Wert E_0 der ersten (innersten) Zelle mit $H(o, o, \ldots o)$ übereinstimmt, also null ist; der zweite dadurch, daß der Wert E_{n-1} der letzten (äußersten) Zelle mit C_n, dem Werte der Funktion H an der Berandung, übereinstimmt; beim dritten Fall findet weder das eine noch das andere statt, er hält die Mitte zwischen den beiden anderen. Die Verteilung wird natürlich im allgemeinen in jedem der drei Fälle etwas verschieden ausfallen. Eine Wahl zwischen demselben wollen wir an dieser Stelle noch nicht treffen.[1] Daß außer diesen Definitionen noch unendlich viele andere möglich sind, ist klar.

Durch Gleichung 7) ist E_λ als Funktion des Index λ bestimmt.

5.

Der im vorigen Paragraphen betrachtete Spezialfall führt nunmehr für das zweite Maximumproblem des § 3 zu folgender Verteilung (siehe Gleichung 2):

$$w_\lambda = a\, e^{-\mu\, \alpha_\lambda\, C_n\, n^{-2/r}}, \tag{9}$$

wobei sich die Konstanten a, μ aus den Gleichungen bestimmen:

$$a \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-\alpha_\lambda\, \mu\, C_n\, n^{-2/r}} = 1 \tag{10}$$

$$Na\, C_n\, n^{-\frac{2}{r}} \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \alpha_\lambda\, e^{-\alpha_\lambda\, \mu\, C_n\, n^{-\frac{2}{r}}} = E\,. \tag{11}$$

[1] Siehe §§ 20, 22, auch 6.

Die explizite Darstellung von a und μ aus den beiden letzten Gleichungen ist bei beliebiger Dimensionszahl r nur angenähert möglich. Bloß für $r = 2$ wird die Aufgabe verhältnismäßig einfach. Diesen Spezialfall wollen wir also zunächst abtun.

Für $r = 2$ lauten die Gleichungen 10) und 11), wenn man abkürzungsweise

$$e^{-\mu C_n n^{-1}} = \gamma, \qquad \frac{E}{N} = \varepsilon$$

setzt, je nach der Definition von α_λ durch 8 a), 8 b), 8 c)

entweder

$$a \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \gamma^\lambda = 1$$

$$a\, C_n n^{-1} \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \lambda \gamma^\lambda = \varepsilon$$

oder

$$a \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \gamma^{\lambda+1} = 1$$

$$a\, C_n n^{-1} \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} (\lambda+1) \gamma^{\lambda+1} = \varepsilon$$

oder

$$a \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \gamma^{\lambda+\frac{1}{2}} = 1$$

$$a\, C_n n^{-1} \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \left(\lambda + \frac{1}{2}\right) \gamma^{\lambda+\frac{1}{2}} = \varepsilon.$$

Da nun

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \gamma^\lambda = \frac{1-\gamma^n}{1-\gamma}, \qquad \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \gamma^{\lambda+1} = \gamma \frac{1-\gamma^n}{1-\gamma}, \qquad \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \gamma^{\lambda+\frac{1}{2}} = \sqrt{\gamma} \frac{1-\gamma^n}{1-\gamma};$$

ferner

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \lambda \gamma^\lambda = \gamma \frac{1 - n\gamma^{n-1} + (n-1)\gamma^n}{(1-\gamma)^2}$$

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} (\lambda + 1) \gamma^{\lambda+1} = \gamma \frac{1 - n\gamma^{n-1} + (n-1)\gamma^n}{(1-\gamma)^2} + n\gamma^n$$

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \left(\lambda + \frac{1}{2}\right) \gamma^{\lambda+\frac{1}{2}} = \gamma^{3/2} \frac{1 - n\gamma^{n-1} + (n-1)\gamma^n}{(1-\gamma)^2} + \frac{1}{2} \sqrt{\gamma} \frac{1-\gamma^n}{1-\gamma},$$

so lassen sich a und γ in jedem der drei Fälle im Prinzip explizit berechnen. Die Berechnung wird besonders einfach in dem praktisch stets realisierten Fall, daß n eine große Zahl ist. Da nämlich γ ein echter Bruch ist, kann man γ^n neben 1 vernachlässigen und man erhält im ersten Falle ($\alpha_\lambda = \lambda$)

$$\frac{a}{1-\gamma} = 1, \qquad a\, C_n n^{-1} \frac{\gamma}{(1-\gamma)^2} = \varepsilon;$$

demnach

$$\gamma = \frac{\varepsilon}{\varepsilon + C_n n^{-1}}$$

oder

$$\mu = \frac{n}{C_n} \lg \left(1 + \frac{C_n}{n\varepsilon}\right) \qquad 12a)$$

$$a = \frac{C_n}{n\varepsilon + C_n}. \qquad 13a)$$

Für $\alpha_\lambda = \lambda + 1$ (2. Fall) hat man die Gleichungen

$$a \frac{\gamma}{1-\gamma} = 1, \qquad a\, C_n n^{-1} \frac{\gamma}{(1-\gamma)^2} = \varepsilon;$$

daher

$$\gamma = \frac{\varepsilon - C_n n^{-1}}{\varepsilon}$$

und

$$\mu = -\frac{n}{C_n} \lg \left(1 - \frac{C_n}{n\varepsilon}\right) \qquad 12b)$$

$$a = \frac{C_n}{n\varepsilon - C_n}. \qquad 13b)$$

Endlich im dritten Falle $\left(\alpha_\lambda = \lambda + \frac{1}{2}\right)$

$$a \frac{\sqrt{\gamma}}{1-\gamma} = 1, \qquad a\, C_n n^{-1} \frac{\sqrt{\gamma}(1+\gamma)}{2\,(1-\gamma)^2} = \varepsilon;$$

daher

$$\gamma = \frac{2\varepsilon - C_n n^{-1}}{2\varepsilon + C_n n^{-1}}$$

$$\mu = \frac{n}{C_n} \lg \frac{1 + \frac{1}{2}\frac{C_n}{n\varepsilon}}{1 - \frac{1}{2}\frac{C_n}{n\varepsilon}} \qquad 12c)$$

$$a = \frac{2\,C_n}{\sqrt{4n^2\varepsilon^2 - C_n^2}}. \qquad 13c)$$

6.

Bei beliebiger Dimensionszahl r muß man zur expliziten Berechnung von a und μ die in 10) und 11) auftretenden Summen näherungsweise durch Aggregate von verhältnismäßig wenigen Gliedern darstellen können. Dies gelingt in zwei Extremfällen: wenn die Größe $\mu\, C_n n^{-\frac{2}{r}}$ entweder besonders groß oder besonders klein ist.

Im ersten Fall genügt es, von den Summen die ersten Glieder zu nehmen, da die Summenglieder rasch klein werden. Nennt man

$$\mu\, C_n n^{-\frac{2}{r}} = s,$$

so sind

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-s\alpha_\lambda} = e^{-s\alpha_0}\left(1 + e^{-s(\alpha_1-\alpha_0)} + e^{-s(\alpha_2-\alpha_0)} + \ldots\right) \qquad 14)$$

und

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \alpha_\lambda e^{-s\alpha_\lambda} = \alpha_0 e^{-s\alpha_0}\left(1 + \frac{\alpha_1}{\alpha_0} e^{-s(\alpha_1-\alpha_0)} + \frac{\alpha_2}{\alpha_0} e^{-s(\alpha_2-\alpha_0)} + \ldots\right) \qquad 15)$$

durch wenige Glieder mit hinreichender Annäherung darstellbar. Für die durch 8 a) gegebene Definition von α_λ ist natürlich $\alpha_0 = 0$ und in der letzten Summe erscheint dann statt $\alpha_0 e^{-s\alpha_0}$ als Faktor $\alpha_1 \; e^{-s\alpha_1}$ herausgehoben.

Im zweiten Falle, also wenn s eine kleine Zahl ist, ist das geeignete Instrument für die annäherungsweise Darstellung die sogenannte Euler'sche Summenformel[1], welche von der Approximation der Summe durch ein Integral ausgeht:

$$f(a) + f(a+h) + f(a+2h) + \ldots + f(b-h) =$$

$$= \frac{1}{h}\int_a^b f(x)\,dx + A_1\,(f(b) - f(a)) + A_2\,h\,(f'(b) - f'(a)) + \ldots +$$

$$+ A_{2\varkappa-1}\,h^{2\varkappa-2}\,(f^{(2\varkappa-2)}(b) - f^{(2\varkappa-2)}(a)) + R_{2\varkappa},$$

wo

$$b = a + nh$$

und das Restglied

$$R_{2\varkappa} = A_{2\varkappa} h^{2\varkappa}\,[f^{(2\varkappa)}(a+\theta h) + f^{(2\varkappa)}(a+h+\theta h) + \ldots + f^{(2\varkappa)}(b-h+\theta h)]$$

$$0 < \theta < 1.$$

Die Koeffizienten $A_1, A_2 \ldots$ sind durch Bernoulli'sche Zahlen ausdrückbar und nehmen an Größe mit wachsendem Index rasch ab; es ist

$$A_1 = -\frac{1}{2}, \quad A_2 = \frac{1}{12}, \quad A_3 = 0, \quad A_4 = -\frac{1}{720} \ldots$$

und

$$A_{2\lambda+1} = 0 \quad \text{für } \lambda = 1, 2 \ldots$$

In der Anwendung auf unseren Fall ist $a = 0$, $h = 1$ zu setzen.

Indem man für α_λ eine der drei durch 8 a), 8 b), 8 c) gegebenen Darstellungen als Funktion des Index λ wählt, erhält man für die erste Summe

$$\sum_{\lambda=0}^{=n-1} e^{-s\alpha_\lambda} = \int_0^n e^{-s\alpha_x}\,dx + A_1\,(e^{-s\alpha_n} - e^{-s\alpha_0}) - sA_2\,(\alpha_n' e^{-s\alpha_n} - \alpha_0' e^{-s\alpha_0}) -$$

$$- sA_4\,[(\alpha_n''' - 3s\alpha_n''\alpha_n' + s^2\alpha_n'^3)\,e^{-s\alpha_n} - (\alpha_0''' - 3s\alpha_0''\alpha_0' + s^2\alpha_0'^3)\,e^{-s\alpha_0}] + \ldots;$$

dabei sind die Ableitungen der Funktion α_x nach x mit $\alpha_x', \alpha_x'' \ldots$ und deren Werte an einer Stelle $x = n$ mit $\alpha_n', \alpha_n'' \ldots$ bezeichnet. Die Reihe wird je nach dem angestrebten Genauigkeitsgrade bei einem bestimmten Gliede abgebrochen.

Eine besondere Vereinfachung ergibt sich noch, wenn man wieder wie im vorigen Paragraphen, die Voraussetzung einführt, daß n eine sehr große Zahl ist, so daß man $e^{-s\alpha_n}$ neben der Einheit vernachlässigen kann. Man kann dann schreiben

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-s\alpha_\lambda} = \int_0^\infty e^{-s\alpha_x}\,dx - A_1\,e^{-s\alpha_0} + A_2\,s\alpha_0'\,e^{-s\alpha_0} + \ldots; \qquad 16)$$

die obere Grenze des Integrals ist im Sinne der letzten Voraussetzung unendlich gesetzt worden.

---

[1] S. z. B. Enzyklop. d. math. Wiss., I, E 11.

Die andere Summe kann unter Einführung derselben Voraussetzung in analoger Weise angenähert werden:

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \alpha_\lambda e^{-s\alpha_\lambda} = \int_0^\infty \alpha_x e^{-s\alpha_x} dx - A_1 \alpha_0 e^{-s\alpha_0} - A_2 (1 - s\alpha_0) \alpha_0' e^{-s\alpha_0} + \ldots \qquad 17)$$

Hat man die in 16) und 17) vorkommenden Integrale als Funktionen von s berechnet, so erhält man durch Einsetzen der Summen in 10), 11) zwei mit beliebiger Annäherung giltige transzendente Gleichungen, aus denen man a und s, also auch n bestimmen kann.

Es ist klar, daß man die Formeln 16), 17) nur anwenden kann, wenn die Ableitungen α_x', $\alpha_x''\ldots$ an der Stelle $x = 0$ endlich bleiben. Dieser Forderung entspricht aber nur die Definition 8 *b*), welche also vor allen anderen durch besondere Einfachheit in mathematischer Hinsicht ausgezeichnet ist. In jedem anderen Falle muß man natürlich die Summe in zwei Teile teilen:

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-s\alpha_\lambda} = e^{-s\alpha_0} + \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-s\alpha_\lambda},$$

und auf den zweiten Teil die Euler'sche Summenformel anwenden; in dieser kommen dann nur die stets endlich bleibenden Ableitungen α_1', $\alpha_1''\ldots$ an der Stelle $x = 1$ vor.

Ein besonderer Fall tritt ein, wenn r eine große Zahl ist. In diesem Falle ist — gleichgiltig welche der Definitionen 8 a), 8 b), 8 c) man zugrunde legt — selbst für sehr große Werte von λ nahezu

$$\alpha_\lambda = 1.$$

Dann erhalten die Gleichungen 10), 11) mit großer Annäherung die Form

$$a\, n\, e^{-\mu C_n} = 1 \qquad 10\,A)$$

$$C_n = \frac{E}{N} \qquad 11\,A)$$

Aus diesen lassen sich zwar a und μ nicht mehr gesondert berechnen. Dies ist aber auch zur Bestimmung der Verteilung nicht mehr nötig, denn aus 9) folgt

$$w_\lambda = a\, e^{-\mu C_n},$$

also nach 10 A)

$$w_\lambda = \frac{1}{n}, \qquad 9\,A)$$

identisch mit 1). Das heißt bei hoher Dimensionszahl des Zustandsraumes nähert sich die Verteilung jener, welche ohne die Bedingung II) vorhanden wäre; sie wird gleichförmig und unabhängig von der gegebenen Funktion $H(\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_r)$. Aus 7) und 11 *A)* aber folgt

$$E_\lambda = C_n = \frac{E}{N}; \qquad 7\,A)$$

das heißt, man erhält denselben Wert für E_λ, wie wenn man von vornherein allen Elementen denselben Anteil von E zugeteilt hätte.

7.

Sinngemäß nennt man den Ausdruck

$$\frac{1}{N} \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} x_\lambda f_\lambda = \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} w_\lambda f_\lambda,$$

wo f_λ den Wert einer Funktion $f(\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_r)$ in der $\lambda + 1$ten Zelle bedeutet, den statistischen Mittelwert der Funktion f im Raume Ω. So besagt Bedingung II), daß der Mittelwert der Funktion

$H(\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_r)$ im Raume Ω den Wert $\frac{E}{N}$ haben soll. In gleicher Weise wollen wir nun den Mittelwert irgendeines Gliedes $c_\varkappa \xi_\varkappa^2$ in dem Ausdruck II *a*) der Funktion $H(\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_r)$ berechnen.

Zu jeder Mittelwertsberechnung gehört, wie in § 2 auseinandergesetzt ist, eine bestimmte Zelleneinteilung, welche die selbstverständliche Voraussetzung zu erfüllen hat, daß innerhalb einer Zelle die Verteilungszahl w_λ sowie der betreffende Funktionswert f_λ als konstant betrachtet werden können. So haben wir in § 4 die zur Berechnung des Mittelwertes von $H(\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_r)$ in II a) gehörige Zelleneinteilung als eine solche in hyperellipsoidische Schalen erkannt und mit Hilfe derselben auch die Verteilung w_λ gerechnet. Densalben Umstand haben wir jetzt auch bei der Berechnung des Mittelwertes von $C_\varkappa \xi_\varkappa^2$ zu beachten. Wir haben also eine Zelleneinteilung zu wählen, so daß innerhalb einer Zelle erstens die Verteilungszahl w_λ, zweitens der Wert der Funktion $C_\varkappa \xi_\varkappa^2$ konstant ist. Der ersten Bedingung für sich wird genügt durch die genannte Einteilung in Hyperellipsoidschalen, der zweiten für sich durch eine Einteilung vermittelst Hyperebenen der Schar

$$c_\varkappa \xi_\varkappa^2 = \text{konst.},$$

d. h. von Hyperebenen senkrecht zur $\xi_\varkappa$-Achse. Unsere Einteilung muß diesen beiden Einteilungen gleichzeitig angehören, das heißt, sie muß bestehen aus den Räumen, welche aus der ersten mit Hilfe der Hyperellipsoide

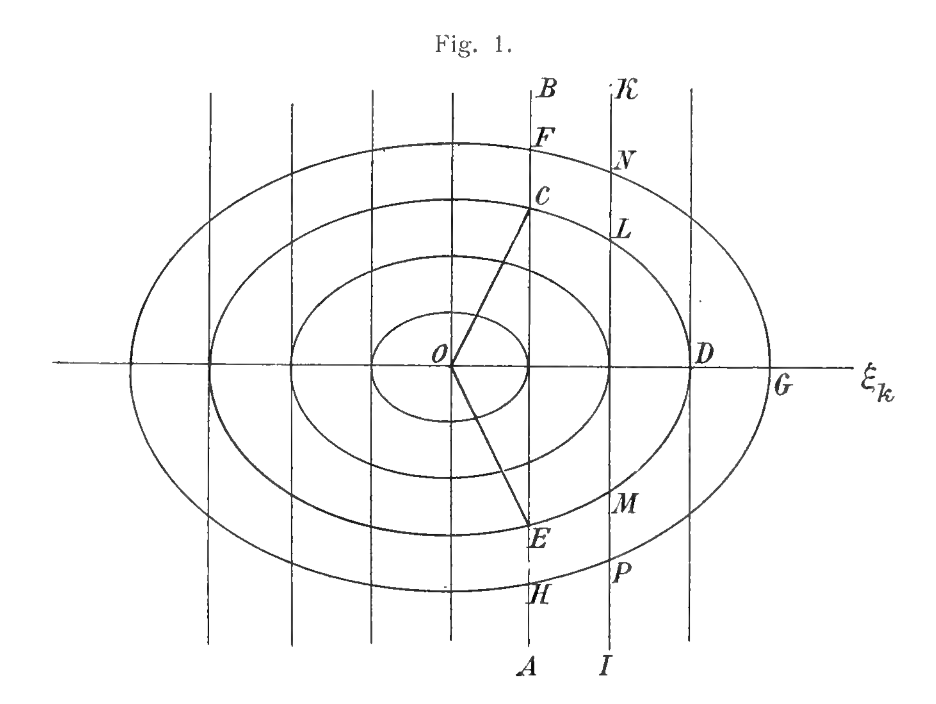
$$c_1 \xi_1^2 + c_2 \xi_2^2 + \ldots + c_r \xi_r^2 = \text{konst.}$$

gewonnenen Einteilung durch die zweite mittels der Hyperebenen

$$\xi_\varkappa = \text{konst.}$$

konstruierten herausgeschnitten werden. Die Fig. 1 gibt für den Fall des dreidimensionalen Raumes durch einen ebenen Schnitt, der die $\xi_\varkappa$-Achse und eine andere Koordinatenachse enthält, die Zelleneinteilung wieder. Wie man erkennt, sind jetzt die Zellen im allgemeinen ringförmig bis auf jene,

Fig. 1.



welche die $\xi_\varkappa$-Achse enthalten, und ihre Zahl ist viel größer als bei der ursprünglichen Einteilung, nämlich $2n(n+1)$. (Damit also in jeder Zelle noch immer viele Elemente liegen, genügt es jetzt nicht, daß

$$N \gg n$$

sondern es muß

$$N \gg n^2.)$$

Eine Zelle ist begrenzt von zwei Ellipsoidflächen und zwei Ebenen, nur die Zellen, welche die $\xi_\varkappa$-Achse enthalten, von einer Ellipsoidfläche und einer Ebene. Die Ellipsoidflächen gehören der Schar

$$c_1 \xi_1^2 + c_2 \xi_2^2 + \ldots + c_r \xi_r^2 = 2\, C_\lambda \qquad (\lambda = 1, 2 \ldots n)$$

an, die Ebenen, welche senkrecht zur $\xi_\varkappa$-Achse die Ellipsoide berühren, der Schar

$$\xi_\varkappa = \pm \sqrt{\frac{2\, C_\mu}{c_\varkappa}}. \qquad (\mu = 1, 2 \ldots n)$$

Wegen der Symmetrie genügt es offenbar, die Verhältnisse auf der positiven Seite der $\xi_\varkappa$-Achse zu untersuchen.

Man erkennt, daß die Zahl der Zellen, welche zwischen den Hyperebenen

$$\xi_\varkappa = \sqrt{\frac{2\, C_\mu}{c_\varkappa}} \quad \text{und} \quad \xi_\varkappa = \sqrt{\frac{2\, C_{\mu+1}}{c_\varkappa}}$$

liegen, $n - \mu$ beträgt. Für alle diese ist der Wert der Funktion $c_\varkappa \xi_\varkappa^2$, deren statistischer Mittelwert gebildet werden soll, als konstant, und zwar beispielsweise $C_\mu + C_{\mu+1}$ anzunehmen. Die Zellen dieser Schicht werden gebildet durch die $n - \mu$ Hyperellipsoide

$$c_1 \xi_1^2 + c_2 \xi_2^2 + \ldots + c_r \xi_r^2 = 2\, C_\lambda. \qquad (\lambda = \mu + 1,\ \mu + 2 \ldots n)$$

Wir nennen nun $x_{\lambda\mu}$ die Zahl von Elementen, welche sich in jener Zelle der betrachteten Schicht befinden, die zwischen den beiden Hyperellipsoidflächen mit den Konstanten C_λ und $C_{\lambda+1}$ liegt, und setzen

$$w_{\lambda\mu} = \frac{x_{\lambda\mu}}{N};$$

dabei muß stets $\lambda \geqq \mu$ sein. Zu dem gesuchten Mittelwert trägt dann die betrachtete Schicht den Wert bei

$$\sum_{\lambda=\mu}^{\lambda=n-1} w_{\lambda\mu} . (C_\mu + C_{\mu+1}) = (C_\mu + C_{\mu+1}) \sum_{\lambda=\mu}^{\lambda=n-1} w_{\lambda\mu};$$

und der ganze Mittelwert beträgt also

$$M = \sum_{\mu=0}^{\mu=n-1} (C_\mu + C_{\mu+1}) \sum_{\lambda=\mu}^{\lambda=n-1} w_{\lambda\mu}. \tag{18}$$

Die Zahlen $w_{\lambda\mu}$ hängen aber in einfacher Weise mit den Verteilungszahlen w_λ zusammen. Denn $N w_\lambda = x_\lambda$ ist die Zahl der Elemente in der Schale zwischen den beiden Hyperellipsoidflächen mit den Konstanten C_λ und $C_{\lambda+1}$; $N w_{\lambda\mu} = x_{\lambda\mu}$ aber ist die Zahl der Elemente in einem Teile dieser Schale, nämlich jenem, der zwischen den Hyperebenen mit den Konstanten C_μ und $C_{\mu+1}$ liegt. Voraussetzungsgemäß ist aber die Verteilung innerhalb der ganzen Schale als konstant anzunehmen. Folglich verhalten sich die Zahlen $x_{\lambda\mu}$ und x_λ und daher auch die Zahlen $w_{\lambda\mu}$ und w_λ wie die zugehörigen Volumina. Nennen wir also das Volum der ganzen Schale Ω_λ, das Volum der Zelle aber, welche aus dieser Schale von den beiden genannten Hyperebenen herausgeschnitten wird, $\Omega_{\lambda\mu}$, so ist

$$w_{\lambda\mu} = \frac{\Omega_{\lambda\mu}}{\Omega_\lambda} w_\lambda. \tag{19}$$

8.

Berechnen wir das Volum $\Omega_{\lambda\mu}$. Diese Rechnung läßt sich folgendermaßen führen: Die Hyperebene

$$\xi_\varkappa = \sqrt{\frac{2\, C_\mu}{c_\varkappa}}$$

schneidet von den beiden Hyperellipsoiden

$$c_1 \xi_1^2 + c_2 \xi_2^2 + \ldots + c_r \xi_r^2 = 2\, C_\lambda \qquad \lambda \geqq \mu$$
$$c_1 \xi_1^2 + c_2 \xi_2^2 + \ldots + c_r \xi_r^2 = 2\, C_{\lambda+1}$$

je ein Segment ab. (In dem ebenen Schnitt derFig. 1 sind die Ebene mit AB, die Segmente mit CDE und $F\ G\ H$ bezeichnet.) Bilden wir die Differenz der Volumina beider Segmente, so erhalten wir den Teil der Schale Ω_λ, welcher sich nach der positiven Seite der $\xi_\varkappa$-Achse hin auf die genannte Hyperebene aufstützt. Machen wir das Analoge mit den beiden Segmenten (in der Figur LDM und NGP), welche von der Hyperebene

$$\xi_\varkappa = \sqrt{\frac{2C_{\mu+1}}{c_\varkappa}}$$

(IK der Figur) abgeschnitten werden; wir erhalten so den Teil der Schale Ω_λ, welcher sich auf die Hyperebene mit der Konstanten $C_{\mu+1}$ aufstützt. Schließlich ist dann das gesuchte Volum der Zelle $\Omega_{\lambda\,\mu}$ die Differenz beider so erhaltenen Teile der Schale Ω_λ. Nennen wir also $S_{\lambda\,\mu}\,(\lambda \geqq \mu)$ das Volum des Segments einer Hyperellipsoidfläche mit der Konstanten C_λ, welches von der Hyperebene mit der Konstanten C_μ auf der positiven Seite der $\xi_\varkappa$-Achse abgeschnitten wird, so ist

$$\Omega_{\lambda\mu} = S_{\lambda+1,\,\mu} - S_{\lambda\mu} - S_{\lambda+1,\,\mu+1} + S_{\lambda,\,\mu+1}. \tag{20}$$

Wir beginnen etwa mit der Berechnung von $S_{\lambda\,\mu}$; und zwar rechnen wir das Volum des Segments als Differenz der Volumina eines Sektors und eines Kegels (in der Fig. $CDEC = OCDEO - OCEO$). Zur Berechnung machen wir zunächst die Transformation

$$\sqrt{c_1}\,\xi_1 = \eta_1, \qquad \sqrt{c_2}\,\xi_2 = \eta_2, \ldots \sqrt{c_r}\,\xi_r = \eta_r,$$

so daß im Raume der $\eta_1, \eta_2 \ldots \eta_r$ aus den Ellipsoiden Kugeln, also aus dem Ellipsoidsektor ein Kugelsektor wird. Nunmehr führen wir Polarkoordinaten ein durch den Ansatz [1]

$$\eta_\varkappa = \rho \sin \varphi_{\varkappa+1}$$
$$\eta_{\varkappa+1} = \rho \cos \varphi_{\varkappa+1} \sin \varphi_{\varkappa+2}$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$\eta_r = \rho \cos \varphi_{\varkappa+1} \cos \varphi_{\varkappa+2} \ldots \cos \varphi_r \sin \varphi_r$$
$$\eta_1 = \rho \cos \varphi_{\varkappa+1} \cos \varphi_{\varkappa+2} \ldots \cos \varphi_r \cos \varphi_1 \sin \varphi_2$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$\eta_{\varkappa-1} = \rho \cos \varphi_{\varkappa+1} \cos \varphi_{\varkappa+2} \ldots \cos \varphi_r \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \ldots \cos \varphi_{\varkappa-1}$$

Das Volumelement dieses r-dimensionalen Raumes lautet

$$d\eta_1\, d\eta_2 \ldots d\eta_r = \rho^{r-1} \cos^{r-2}\varphi_{\varkappa+1} \cos^{r-3}\varphi_{\varkappa+2} \ldots \cos^{\varkappa-1}\varphi_r \cos^{\varkappa-2}\varphi_1 \ldots \cos\varphi_{\varkappa-2}\, d\rho\, d\varphi_1\, d\varphi_2 \ldots d\varphi_{\varkappa-1}\, d\varphi_{\varkappa+1}\, d\varphi_{\varkappa+2} \ldots d\varphi_r.$$

Das gesuchte Volumen des Sektors hat daher den Wert

$$\int\int^{(r)}\!\!\ldots\int \rho^{r-1} \cos^{r-2} \varphi_{\varkappa+1} \cos^{r-3} \varphi_{\varkappa+2} \ldots \cos \varphi_{\varkappa-2}\, d\rho\, d\varphi_1\, d\varphi_2 \ldots d\varphi_{\varkappa-1}\, d\varphi_{\varkappa+1} \ldots d\varphi_\varkappa$$

und es handelt sich noch um die Bestimmung der Grenzen des Integrals.

---

[1] Ein Polarkoordinatensystem hat immer eine ausgezeichnete Achse. Danach kann man im dreidimensionalen Raume drei verschiedene Polarkoordinatensysteme einführen, je nachdem die X-, Y- oder Z-Achse zur Achse gewählt wird; die Transformationsformeln lauten entsprechend

im ersten Fall $x = \rho \sin \vartheta$, $y = \rho \cos \vartheta \sin \psi$, $z = \rho \cos \vartheta \cos \psi$

im zweiten Fall $y = \rho \sin \vartheta$, $z = \rho \cos \vartheta \sin \psi$, $x = \rho \cos \vartheta \cos \psi$

im dritten Fall $z = \rho \sin \vartheta$, $x = \rho \cos \vartheta \sin \psi$, $y = \rho \cos \vartheta \cos \psi$.

Analog gibt es im r-dimensionalen Raum r verschiedene Polarkoordinatensysteme. Oben ist aus naheliegenden Gründen die $\eta_\varkappa$-Achse zur Achse des Koordinatensystems gemacht worden.

Nun ist der Schnitt der Kugel

$$\eta_1^2 + \eta_2^2 + \ldots + \eta_r^2 = 2C_\lambda$$

mit der Ebene

$$\eta_\varkappa = \sqrt{2C_\mu}$$

die Kugelfläche niedrigerer Dimension

$$\eta_1^2 + \eta_2^2 + \ldots + \eta_{\varkappa-1}^2 + \eta_{\varkappa+1}^2 + \ldots + \eta_r^2 = 2\,(C_\lambda - C_\mu)$$

oder in Polarkoordinaten

$$\cos\varphi_{\varkappa+1} = \sqrt{1 - \frac{C_\mu}{C_\lambda}}.$$

Demnach ist in bezug auf ρ von 0 bis $\sqrt{2C_\lambda}$, in bezug auf $\varphi_{\varkappa+1}$ von $\arccos\sqrt{1-\frac{C_\mu}{C_\lambda}}$ bis $\frac{\pi}{2}$ zu integrieren, während der Rest des Integrals

$$\int\int^{(r-2)}\ldots\int\cos^{r-3}\varphi_{\varkappa+2}\ldots\cos\varphi_{\varkappa-2}\,d\varphi_{\varkappa+2}\,d\varphi_{\varkappa+3}\ldots d\varphi_{\varkappa-2}$$

die Oberfläche einer Einheitskugel im $r-1$ — dimensionalen Raum bedeutet, also identisch ist mit

$$\frac{(r-1)\,\pi^{\frac{r-1}{2}}}{\Gamma\left(1+\frac{r-1}{2}\right)}.[1]$$

Obwohl man bereits hier das für uns allein Wesentliche, nämlich die Symmetrie des Mittelwertes M hinsichtlich der r Achsen $\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_r$, erkennt, soll die Rechnung der Deutlichkeit wegen doch etwas ausgeführt werden.

Das Volum des Sektors ist

$$\frac{(r-1)\,\pi^{\frac{r-1}{2}}}{\Gamma\left(1+\frac{r-1}{2}\right)}\int_0^{\sqrt{2C_\lambda}}\int_{\arccos\sqrt{1-\frac{C_\mu}{C_\lambda}}}^{\frac{\pi}{2}}\rho^{r-1}\cos^{r-2}\varphi_{\varkappa+1}\,d\rho\,d\varphi_{\varkappa+1} =$$

$$= \frac{(r-1)\,\pi^{\frac{r-1}{2}}}{r\,\Gamma\left(1+\frac{r-1}{2}\right)}\,(2\,C_\lambda)^{r/2}\int_0^{\sqrt{1-\frac{C_\mu}{C_\lambda}}}\frac{x^{r-2}}{\sqrt{1-x^2}}\,dx.$$

Mit Hilfe der Rekursionsformel

$$\int_0^{\sqrt{1-\frac{C_\mu}{C_\lambda}}}\frac{x^{r-2}}{\sqrt{1-x^2}}\,dx = -\frac{1}{r-2}\sqrt{\frac{C_\mu}{C_\lambda}}\left(1-\frac{C_\mu}{C_\lambda}\right)^{\frac{r-3}{2}} + \frac{r-3}{r-2}\int_0^{\sqrt{1-\frac{C_\mu}{C_\lambda}}}\frac{x^{r-4}}{\sqrt{1-x^2}}\,dx$$

---

[1] Man kann diesen Ausdruck leicht aus dem im § 4 verwendeten für das Volum eines Ellipsoids im r-dimensionalen Raum herleiten. Wie man aus diesem sogleich erkennt, ist das Volum einer Kugel vom Radius R im $r-1$-dimensionalen Raum

$$\frac{\pi^{\frac{r-1}{2}}}{\Gamma\left(1+\frac{r-1}{2}\right)}R^{r-1};$$

andrerseits läßt sich dieses Volum darstellen in der Form

$$\int_0^R\int_O\rho^{r-2}\,d\rho\,do = \frac{R^{r-1}}{r-1}\,O,$$

wenn do ein Oberflächenelement, O die Oberfläche der Kugel ist. Durch Vergleich beider Ausdrücke ergibt sich für O der obenstehende Ausdruck.

findet man schießlich das Volum des Kugelsektors zu

$$\frac{r-1}{r}\frac{\pi^{\frac{r-1}{2}}}{\Gamma\left(1+\frac{r-1}{2}\right)}(2\,C_\lambda)^{\frac{r}{2}}\left[\Phi_r\left(\frac{C_\mu}{C_\lambda}\right)-\frac{1}{r-2}\sqrt{\frac{C_\mu}{C_\lambda}}\left(\left(1-\frac{C_\mu}{C_\lambda}\right)^{\frac{r-3}{2}}+\frac{r-3}{r-4}\left(1-\frac{C_\mu}{C_\lambda}\right)^{\frac{r-5}{2}}+\right.\right.$$

$$\left.\left.+\frac{(r-3)(r-5)}{(r-4)(r-6)}\left(1-\frac{C_\mu}{C_\lambda}\right)^{\frac{r-7}{2}}+\ldots\right)\right]$$

wo

$$\Phi_r=\begin{cases}\dfrac{(r-3)\,(r-5)\ldots 3.\,1}{(r-2)\,(r-4)\ldots 4.\,2}\left(\dfrac{\pi}{2}-\text{arc sin}\sqrt{\dfrac{C_\mu}{C_\lambda}}\right) & \text{für gerades } r,\\[2ex] \dfrac{(r-3)\,(r-5)\ldots 4.\,2}{(r-2)\,(r-4)\ldots 3.\,1}\left(1-\sqrt{\dfrac{C_\mu}{C_\lambda}}\right) & \text{für ungerades } r,\end{cases}$$

und der Klammerausdruck im ersten Fall $\frac{r}{2}-1$, im zweiten $\frac{r-1}{2}-1$ Glieder hat.

Wir schreiten hierauf an die Berechnung des Kegels. Dieser wird ebenso berechnet wie der Sektor, mit dem einen Unterschied, daß in bezug auf ρ zu integrieren ist von $\rho=0$ bis $\rho=\frac{\sqrt{2\,C_\mu}}{\sin\varphi_{\varkappa+1}}$. Das Volum des Kegels hat daher den Wert

$$\frac{(r-1)\,\pi^{\frac{r-1}{2}}}{\Gamma\left(1+\frac{r-1}{2}\right)}\int_{\text{arc cos}\sqrt{1-\frac{C_\mu}{C_\lambda}}}^{\frac{\pi}{2}}\cos^{r-2}\varphi_{\varkappa+1}\,d\varphi_{\varkappa+1}\int_0^{\frac{\sqrt{2\,C_\mu}}{\sin\varphi_{\varkappa+1}}}\rho^{r-1}\,d\rho=$$

$$=\frac{r-1}{r}\frac{\pi^{\frac{r-1}{2}}}{\Gamma\left(1+\frac{r-1}{2}\right)}(2\,C_\mu)^{\frac{r}{2}}\int_{\text{arc cos}\sqrt{1-\frac{C_\mu}{C_\lambda}}}^{\frac{\pi}{2}}\frac{\cos^{r-2}\varphi_{\varkappa+1}}{\sin^r\varphi_{\varkappa+1}}\,d\varphi_{\varkappa+1}=\frac{2^{\frac{r}{2}}\pi^{\frac{r-1}{2}}}{r\,\Gamma\left(1+\frac{r-1}{2}\right)}\sqrt{C_\mu\,(C_\lambda-C_\mu)^{r-1}}\,.$$

Durch Subtraktion dieses Ausdrucks von dem obigen für das Volum des Sektors erhalten wir das Volum des Kugelsegments im η_1-η_2-$\ldots\eta_r$-Raume. Das gesuchte Volum des Ellipsoidsegments $S_{\lambda\,\mu}$ im Raume der $\xi_1,\,\xi_2\ldots\xi_r$ erhalten wir dann durch Multiplikation mit $(c_1\,c_2\ldots c_r)^{-\frac{1}{2}}$. So bekommen wir

$$S_{\lambda\mu}=\frac{2^{r/2}\,\pi^{\frac{r-1}{2}}}{r\,\Gamma\left(1+\frac{r-1}{2}\right)}(c_1\,c_2\ldots c_r)^{-\frac{1}{2}}\,C_\lambda^{\frac{r}{2}}\left\{(r-1)\,\Phi_r\left(\frac{C_\mu}{C_\lambda}\right)-\right.$$

$$\left.-\sqrt{\frac{C_\mu}{C_\lambda}}\left[\left(1-\frac{C_\mu}{C_\lambda}\right)^{\frac{r-1}{2}}+\frac{r-1}{r-2}\left(1-\frac{C_\mu}{C_\lambda}\right)^{\frac{r-3}{2}}+\frac{(r-1)\,(r-3)}{(r-2)\,(r-4)}\left(1-\frac{C_x}{C_\lambda}\right)^{\frac{r-5}{2}}+\ldots\right]\right\}.[1] \tag{21)}$$

[1] Eine Probe auf die Richtigkeit der Rechnung liegt darin, daß für $\mu=0$ das Segment $S_{\lambda\,\mu}$ in das Volum des halben Ellipsoids übergehen muß, welches nach § 4 den Wert hat

$$2^{\frac{r-2}{2}}\frac{\pi^{\frac{r}{2}}}{\Gamma\left(1+\frac{r}{2}\right)}(c_1\,c_2\ldots c_r)^{-\frac{1}{2}}\,C_\lambda^{r/2}\,.$$

Dies ist nun tatsächlich der Fall vermöge der Bezeichnung

$$\Gamma\left(1+\frac{r-1}{2}\right)\Gamma\left(1+\frac{r}{2}\right)=\frac{\sqrt{\pi}}{2^r}\,\Gamma\,(1+r).$$

Indem man in diesem Ausdruck statt λ, μ entsprechend $\lambda+1$, respektive $\mu+1$ schreibt, erhält man auch sogleich die Ausdrücke $S_{\lambda+1,\mu}$, $S_{\lambda,\mu+1}$ und $S_{\lambda+1,\mu+1}$ und aus diesen nach 20) das Volum der Zelle $\Omega_{\lambda\mu}$. Damit ist aber auch nach 19) $w_{\lambda\mu}$ und nach 18) der gesuchte Mittelwert M gewonnen. Ohne uns auf die spezielle Form der so erhaltenen Ausdrücke näher einzulassen, wollen wir nur eine Eigenschaft derselben hervorheben. Der Ausdruck 21) enthält außer den Größen r, C_λ, C_μ nur $(c_1 c_2 \dots c_r)^{-\frac{1}{2}}$; mit diesem Faktor erscheint also auch $\Omega_{\lambda\mu}$ multipliziert. Derselbe Faktor kommt aber auch in dem Ausdruck für Ω_λ vor, so daß der Mittelwert M den Faktor gar nicht mehr enthält. In anderer Weise aber treten die Größen $c_1, c_2 \dots c_r$ in den Ausdruck für M überhaupt nicht ein. Demnach erscheint in diesem Ausdruck die $\xi_\varkappa$-Achse in keiner Weise ausgezeichnet; wir hätten denselben Wert für M erhalten, wenn wir den Mittelwert eines anderen Summanden in dem Ausdruck II*a* für $\mathrm{H}(\xi_1, \xi_2 \dots \xi_r)$ gesucht hätten. Also ist der Mittelwert eines jeden $c_\varkappa \xi_\varkappa^2$ für alle Werte $\varkappa = 1, 2 \dots r$ derselbe.

Dieser Mittelwert kann daher sofort angegeben werden: er beträgt den r-ten Teil des Mittelwertes von $2\,\mathrm{H}(\xi_1, \xi_2 \dots \xi_r)$ und ist somit

$$M = 2\frac{\mathrm{E}}{rN}. \qquad 22)$$

Man erkennt, daß dieser Satz aus der geometrischen Tatsache fließt, daß das Segment $S_{\lambda\mu}$ für alle r Achsen des Hyperellipsoids denselben Inhalt hat. Auf die zweidimensionale Ebene angewendet, lautet der Satz so: Teilt man die große und die kleine Halbachse einer Ellipse im selben Verhältnis und zieht durch die beiden Teilungspunkte je eine auf der betreffenden Achse senkrechte Sehne, so werden durch beide Sehnen inhaltsgleiche Segmente abgeschnitten.

9.

Ehe zur Anwendung der vorstehenden Überlegungen auf die statistische Behandlung physikalischer Erscheinungen geschritten wird, möge noch eine Bemerkung über die Wahl der Zellenzahl n Platz finden.

Während es nämlich in der Natur des statistischen Verteilungsproblems gelegen ist, daß der Raum Ω, in welchem die Verteilung vorzunehmen ist, sowie die Zahl N der zu verteilenden Elemente als gegebene Größen anzusehen sind, ist dies mit der Zahl der Zellen, in welche der Raum eingeteilt gedacht wird, nicht der Fall. Die Zelleneinteilung ist zum Zwecke der Durchführbarkeit der statistischen Methode erst geschaffen worden und die Zahl der Zellen ist daher zunächst vollkommen willkürlich. Zwei Umstände sind es jedoch, welche diese Willkür hinterdrein beschränken.

Der erste ist die Verwendung der Stirling'schen Formel. Bekanntlich gilt diese strenge erst im Grenzübergang zu einer unendlich großen Zahl von Elementen. Da wir es stets nur mit einer endlichen Zahl solcher zu tun haben, werden wir bei Anwendung der Formel einen Fehler begehen, der um so kleiner sein wird, je größer die Zahl der Elemente ist. Indem wir nun die Stirling'sche Formel auf die Zahl der in einer Zelle befindlichen Elemente angewendet haben, mußten wir voraussetzen, daß diese hinreichend groß sei, um die Anwendung der Formel zu ermöglichen. Dies bedeutet, genauer gesagt, folgendes: Lassen wir höchstens eine bestimmte Größe des Fehlers zu, so darf die Zahl der in einer Zelle befindlichen Elemente nicht unter einen gewissen Grenzwert herabgehen; oder, da die Gesamtzahl der Elemente N vorgeschrieben ist, so darf das Volum einer Zelle nicht unter einen gewissen untern Grenzwert sinken, also die Zahl n der Zellen nicht über einen gewissen oberen Grenzwert steigen.

Der zweite Umstand, welcher die Willkürlichkeit von n oder N einschränkt, tritt nur bei dem spezielleren Verteilungsproblem auf, bei welchem die Verteilung der Bedingung II) unterworfen ist. In diesem Falle wird nämlich allen Elementen innerhalb einer Zelle derselbe Wert E_λ der Funktion $\mathrm{H}(\xi_1, \xi_2 \dots \xi_r)$ zugeschrieben, zum Beispiel das arithmetische Mittel der Funktionswerte an den Grenzen

der Zelle, welche letztere ja der Schar $H(\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_r) =$ konst. angehören. Durch dieses der statistischen Methode eigentümliche Verfahren begeht man aber einen Fehler, denn strenge genommen, gehört jedem Elemente ein etwas anderer Funktionswert zu. Es ist klar, daß dieser Fehler um so größer wird, je größer die Zelle gemacht wird, weil um so mehr Elemente mit verschiedenen Funktionswerten in dieselbe Zelle gesperrt werden. Läßt man also wieder eine gewisse Maximalgröße des Fehlers zu — wobei übrigens vorher noch genau festzulegen ist, wie die Größe des Fehlers gemessen wird — so darf die Zahl der Elemente pro Zelle nicht über einen gewissen Grenzwert steigen; d. h. bei fester Gesamtzahl N der Elemente darf das Volum einer Zelle nicht über eine gewisse obere Grenze steigen, die Zahl n nicht unter einen gewissen untern Grenzwert herabsinken.

Man erkennt so, daß der Spielraum für die Zahl der Zellen oder für das Volum einer Zelle sowohl nach oben wie nach unten beschränkt ist. Es liegt also nahe, eine Einteilung zu wählen, bei welcher beide Sorten von Fehlern gleichzeitig, das heißt der Gesamtfehler möglichst klein ist. Tut man dies, so gelangt man bei vorgegebenem Ω und N zu einer ganz bestimmten Zellengröße als Optimum. Natürlich muß vorher festgelegt sein, welcher exakte Sinn der Forderung, »den Gesamtfehler möglichst klein zu machen«, beizulegen ist.

II. Teil.

10.

Indem wir nunmehr darangehen, die bisherigen rein formalen Überlegungen auf physikalische Massenerscheinungen anzuwenden, haben wir es als unsere wichtigste Aufgabe anzusehen, die wenigen, aber ernsten und gewichtigen Voraussetzungen, auf welchen jene Überlegungen beruhen, uns klar vor Augen zu führen.

Es sei ein Kollektivgegenstand von N physikalischen Systemen gegeben. Der Zustand eines jeden derselben werde durch Angabe der Werte von r Veränderlichen beschrieben. Die Systeme seien gleichartig, so daß alle dieselben r Veränderlichen zur Beschreibung des Zustandes benötigen und sie sich in physikalischer Hinsicht nur durch die Zahlenwerte der Zustandsveränderlichen unterscheiden. Tragen wir den Wertkomplex dieser r Zustandsvariabeln für ein jedes System als Punkt in einem r-dimensionalen Raum ein, so erhalten wir N Punkte, die »Phasenpunkte«, welche in einem irgendwie begrenzten Teil dieses Raumes liegen. Ein jeder Punkt repräsentiert ein System in einem bestimmten Zustand, einer bestimmten »Phase«; eine Veränderung der Lage eines Phasenpunktes bedeutet eine Zustandsveränderung des zugehörigen Systems. Wir können also die N Systeme — oder ihre sie ersetzenden Phasenpunkte im Zustandsraume — als die Elemente einer Verteilung wählen und auf sie die Überlegungen des vorigen Abschnitts anwenden. Für eine solche statistische Untersuchung verschiedener Verteilungen der N Systeme ist aber die selbstverständliche Voraussetzung, daß ein und dasselbe System der Reihe nach verschiedene Zustände annehmen kann. Dies aber ist nur möglich, wenn ein bestimmtes System als solches individualisierbar und von den übrigen unterscheidbar ist, also nicht etwa bloß durch den speziellen Wertekomplex der Zustandsvariabeln, der ihm gerade zukommt, definiert ist. So zum Beispiel kann ein Molekül eines Gases der Reihe nach verschiedene Lagen im Raume und verschiedene Geschwindigkeiten annehmen, also verschiedene Zustände durchlaufen; ich kann es aber trotz der Verschiedenheit dieser Zustände immer als dasselbe Molekül erkennen, beispielsweise an seiner Nummer, wenn ich die Moleküle numeriert denke.[1] Wäre dies nicht der Fall, so hätte man es ja gar nicht mit einer bestimmten Zahl N von Systemen

[1] Es muß eben die logische Existenz des Systems unabhängig von seinem momentanen Zustande feststehen; was natürlich weder mit seiner empirischen, noch mit seiner metaphysischen Existenz etwas zu tun hat.

zu tun. Diese Bedingung wird beispielsweise erfüllt von einer Raumgesamtheit von Systemen; auf eine solche können wir also die statistischen Untersuchungen des vorigen Abschnittes anwenden. Sie wird aber offensichtlich nicht erfüllt von einer Zeitgesamtheit von Systemen, das heißt von der Gesamtheit aller Zustände, welche ein physikalisches System der Reihe nach durchläuft; eine solche kann also auch nicht unmittelbar Gegenstand eines Verteilungsproblems sein. Gerade diese von der klassischen statistischen Mechanik bevorzugte Gesamtheit bleibt demnach hier ausgeschlossen.[1]

Wollen wir nun eine Raumgesamtheit von N physikalischen Systemen verschiedenen Verteilungen unterwerfen und auf diese die im vorigen Abschnitt auseinandergesetzten statistischen Überlegungen anwenden, so haben wir noch zwei Voraussetzungen zu erfüllen, welche jenen Überlegungen notwendig zugrunde liegen. Die eine besteht darin, daß die Verteilung der die Systeme darstellenden Phasenpunkte in einem begrenzten Teil des r-dimensionalen Raumes vor sich gehen muß; daß sich also eine geschlossene $r-1$-dimensionale Fläche angeben lasse, welche einen bestimmten Raumteil vom Inhalt Ω abgrenzt und innerhalb deren die genannten Punkte bei jeder Verteilung liegen. Andernfalls hätte die im vorigen Abschnitt bentuzte Einteilung des Raumes in eine bestimmte Zahl n von Zellen keinen faßbaren Sinn. Die andere Voraussetzung statuiert, wie schon im § 1 hervorgehoben ist, die Unabhängigkeit der Elemente der Verteilung, also der physikalischen Systeme, voneinander hinsichtlich ihres Zustandes, so daß die Lage eines Phasenpunktes im Zustandsraume ein von den Lagen aller übrigen Punkte unabhängiges Ereignis ist. Die letzte Forderung nun hat die größte Tragweite: sie hängt innig zusammen mit der Frage nach dem Zweck wie nach der Erlaubtheit statistischer Methoden in der Physik und sie liefert das wesentliche Fundament für den Aufbau der statistischen Mechanik. Dies soll hier auseinandergesetzt werden.

11.

Indem die Elemente der Verteilung als »physikalische Systeme« charakterisiert sind, soll ausgedrückt werden, daß die r Variabeln, welche den Zustand eines jeden solchen bestimmen, gesetzmäßig als Funktionen der Zeit definiert sind. Um den folgenden Auseinandersetzungen größere Klarheit und Bestimmtheit zu geben, wollen wir annehmen, daß diese Gesetze die Form von r Differentialgleichungen erster Ordnung mit der Zeit t als unabhängigen Variabeln haben — ohne daß hierdurch der Allgemeingültigkeit unserer Untersuchung ein Abbruch geschähe. Diese Gleichungen geben für jedes System die Geschwindigkeit nach Größe und Richtung an, mit welcher der Phasenpunkt im Zustandsraum fortwandert. Die Integration der r Differentialgleichungen gibt die r Zustandsveränderlichen als Funktionen der Zeit und der Anfangswerte; das heißt, wäre die Anfangslage des Phasenpunktes im Zustandsraume bekannt, so würde man auch die Bahn desselben zu allen späteren Zeiten kennnen, sowie die Geschwindigkeit, mit der sie durchlaufen wird. Nun ist im Sinne unserer statistischen Untersuchung nicht die Anfangslage eines jeden Phasenpunktes als bekannt anzusehen — wegen der allzu großen Zahl derselben — sondern die Anfangsverteilung der Punkte auf die Zellen des Zustandsraumes, also die Zahl der Punkte in jeder Zelle zu Anfang der Zeit. Durch die Wanderung der Punkte im Zustandsraum wird sich die Verteilung im allgemeinen ändern. Ist diese Änderung der Verteilung übersehbar, das heißt trotz der großen Zahl der Punkte berechenbar? Wenn sie es ist, dann hat offenbar die statistische Betrachtungsweise keine Berechtigung mehr; denn, wenn man die Verteilung der N Punkte auf die Zellen des Zustandsraumes für alle Zeiten berechnen kann, wofern sie einem nur zu Anfang gegeben ist, ist damit auch die Frage nach der Häufikeit irgendeiner Verteilung erledigt. Die statistische Schlußweise kann dann nur entweder überflüssig oder falsch sein.

Man erkennt nun sogleich, daß dem wirklich so ist, wenn die N physikalischen Systeme voneinander vollständig unabhängig sind. Denn in diesem Falle üben sie aufeinander keinerlei

[1] Dies hindert nicht, daß man indirekt auch eine solche Zeitgesamtheit statistisch untersuchen kann, indem man sie auf eine Raumgesamtheit abbildet. Ein Beispiel für eine solche Abbildung siehe im § 18.

Kräfte aus; und da sie vollständig gleichartig sind, so haben die r Gleichungen, welche die r Zustandsvariabeln eines jeden Systems als Funktionen der Zeit bestimmen, genau dieselbe Form; die expliziten Ausdrücke der Zustandsvariabeln als Funktionen der Zeit unterscheiden sich einzig und allein durch die Anfangswerte. Das heißt, die Bahnen aller Phasenpunkte haben analytisch dieselben Gleichungen und gehören einer — im allgemeinen — r-parametrigen Schar an. In diesem Falle läßt sich aber aus einer anfänglich gegebenen Verteilung jede spätere berechnen.

Wir wollen diese Tatsache durch ein einfaches Beispiel illustrieren. In einem Raume seien N Fadenpendel von der Länge l aufgehängt, welche in Schwingung versetzt werden. Bezeichnen wir die Beschleunigung der Schwere mit g, den momentanen Ausschlagswinkel eines Pendels mit ξ und setzen wir abkürzungsweise

$$\nu^2 = \frac{g}{l},$$

so ist die Bewegungsgleichung eines der Pendel

$$\frac{d^2\xi}{dt^2} + \nu^2\xi = 0.$$

Das System ist also physikalisch durch die beiden Gleichungen definiert:

$$\frac{d\xi}{dt} = \eta, \qquad \frac{d\eta}{dt} + \nu^2\xi = 0.$$

Der momentane Zustand eines jeden Systems ist durch die beiden Variabeln ξ, η bestimmt und diese genügen für jedes System denselben zwei Gleichungen. Die explizite Darstellung von ξ, η als Funktionen der Zeit lautet:

$$\xi = a \sin(\nu t - \delta), \quad \eta = \nu a \cos(\nu t - \delta),$$

mit den beiden Konstanten a, δ, welche durch die Anfangsbedingungen bestimmt werden. Das statistische Problem besteht darin, die verschiedenen möglichen Verteilungen der N Pendel in einem bestimmt abgegrenzten Teil der ξ-η-Ebene hinsichtlich ihrer Häufigkeit zu untersuchen. Die Ausführung wird wesentlich vereinfacht, wenn wir als Zustandsvariable statt ξ, η die Veränderlichen

$$\xi_1 = \xi, \qquad \xi_2 = \frac{\eta}{\nu}$$

einführen und die Verteilung in der ξ_1-ξ_2-Ebene studieren. Es möge die Verteilung in dem Teile der ξ_1-ξ_2-Ebene untersucht werden, welcher von einem um den Koordinatenursprung mit dem Radius A beschriebenen Kreise eingeschlossen ist; A stellt also die obere Grenze der bei den schwingenden Pendeln vorkommenden Amplituden dar. Ein Punkt in diesem Gebiete bedeutet den momentanen Zustand eines der Pendel; die Gleichungen

$$\frac{d\xi_1}{dt} - \nu\xi_2 = 0, \quad \frac{d\xi_2}{dt} + \nu\xi_1 = 0$$

sind die Bewegungsgleichungen eines solchen Phasenpunktes. Da nun

$$\xi_1^2 + \xi_2^2 = a^2,$$

so sind die Bahnen aller Phasenpunkte konzentrische Kreise um den Ursprung; und da

$$\left(\frac{d\xi_1}{dt}\right)^2 + \left(\frac{d\xi_2}{dt}\right)^2 = \nu^2 a^2,$$

so wächst die Geschwindigkeit, mit der jeder Punkt seinen Kreis beschreibt, proportional dem Radius des letzteren. Demnach bewegen sich die Punkte mit der Geschwindigkeitsverteilung, welche in einem rotierenden starren Körper besteht; das heißt sie ändern ihre relative Lage bei der Bewegung nicht. Daher ist es sehr leicht, sich in jedem Falle von der Änderung Rechenschaft zu geben, welche die

Verteilung der Punkte in der Kreisebene für eine bestimmte Zelleneinteilung erfährt. So zum Beispiel ändert sich eine ursprünglich gleichförmige Verteilung durch die Bewegung der Punkte überhaupt nicht; ferner ändert sich eine beliebige Verteilung nicht, wenn man als Zellen konzentrische, um den Ursprung beschriebene Kreisringe wählt. Eine statistische Häufigkeitsuntersuchung hat unter solchen Umständen keinen Platz; ihre Stelle hat die wirkliche Berechnung der Verteilungsänderung aus den Bewegungsgleichungen der Phasenpunkte eingenommen.

Dies gilt nur dann nicht, wenn r eine große Zahl ist, das heißt, wenn die Zahl der zu lösenden Gleichungen zu groß geworden ist. Dann ist eben schon der Ablauf der Vorgänge im einzelnen System nicht mehr zu überblicken. Dieses ist nämlich einzig und allein Grund und Motiv zur Einführung der statistischen Betrachtungsweise bei physikalischen Vorgängen: daß die Zahl der zur dirckten Lösung des Problems erforderlichen Gleichungen zu groß ist, um benutzt werden zu können; daß die Dauer keines Menschenlebens hinreicht, um sie aufzuschreiben und zu lesen, und die Kapazität keines Menschengeistes, sämtliche Lösungen zu behalten, zu fassen und physikalisch zu deuten. Lassen wir also den singulären Fall, daß schon das einzelne System der Gesamtheit unüberblickbar kompliziert ist, beiseite, so erkennen wir: auf eine Gesamtheit von physikalischen Systemen, welche dauernd und vollständig unabhängig von einander sind, läßt sich die Methode der statistischen Mechanik nicht anwenden.

12.

Es hat den Anschein, als ob wir an dieser Stelle unserer Untersuchung in eine schlimme Sackgasse geraten wären. Einerseits haben die statistischen Überlegungen des ersten Teiles die gegenseitige Unabhängigkeit der Elemente der Verteilung zur Voraussetzung gehabt; andrerseits aber macht die gegenseitige Unabhängigkeit physikalischer Systeme diese ungeeignet, Elemente eines statistischen Verteilungsproblems zu werden; wie ist es also möglich, physikalische Systeme den Methoden der Statistik zu unterwerfen? Aber die Schwierigkeit ist nur eine scheinbare. Der Ton des letzten Satzes im vorigen Paragraphen liegt auf den Worten „dauernd und vollständig“. In der Tat sollen die Systeme der Gesamtheit nur so lange und insofern unabhängig voneinander sein, als sie Elemente der statistischen Verteilung sind, aber nicht beständig und überhaupt.

Was damit gemeint ist und welches der Kern der ganzen Frage ist, erkennt man am besten an dem klassischen Beispiel der Gesamtheit der Moleküle eines idealen Gases. Jedes Molekül stellt ein mechanisches System vor, welches seine Bewegung im allgemeinen — das heißt wenn nicht gerade ein Zusammenstoß erfolgt — unabhängig von allen anderen Molekülen ausführt. Wäre dies aber strenge für alle Zeiten der Fall, gäbe es also keine Zusammenstöße, so läge auch kein Problem der statistischen Mechanik vor. Dieses entsteht erst dadurch, daß je zwei oder mehrere Moleküle während sehr kurzer Zeiten aufeinander starke Kräfte ausüben, also in gegenseitiger Abhängigkeit stehen. Hierbei wird der Bewegungszustand eines jeden der beteiligten Moleküle wesentlich geändert; der Phasenpunkt eines solchen Moleküles wird durch den Zusammenstoß aus der Zelle des Zustandsraumes, in der er sich gerade befindet, heraus- und in eine andere hineingeworfen. Diese durch die Zusammenstöße bewirkte Änderung der Zustandsverteilung unter den Molekülen ist aber von einer Kompliziertheit, die jede Möglichkeit der direkten Berechnung ausschließt; denn bei der letzteren hätte man so viele verschiedene Gleichungen aufzulösen, als Zusammenstöße erfolgen, also eine ungeheuer große Zahl. Jetzt ist also die statistische Methode gestattet, ja die einzig mögliche. Das derselben zugrunde liegende Unabhängigkeitspostulat wird dabei nicht verletzt, wenn nur die Bewegung der Moleküle zwischen zwei Zusammenstößen unabhängig von den übrigen Molekülen erfolgt und wenn in der Beschreibung dieser Bewegung durch r Gleichungen die ganze Definition des Moleküls als mechanischen Systems besteht. Die Zusammenstöße sind in diesen

Gleichungen nicht enthalten, sie existieren als physikalischer Vorgang gar nicht, sie spielen nur die Rolle des »Zufalls«, der die Anwendung der Statistik erst ermöglicht[1].

Das Beispiel der Gasmoleküle ist vorbildlich für alle Gesamtheiten, welche den Überlegungen der statistischen Mechanik unterworfen werden können. Die Gleichungen, welche den Zustand eines jeden Systems der Gesamtheit definieren, müssen dem Unabhängigkeitspostulat Genüge leisten. Durch diese Gleichungen ist das System in physikalischer Hinsicht vollständig definiert und die durch sie beschriebenen Erscheinungen sind die einzigen, welche in Rechnung gezogen werden. Außer ihnen aber muß ein Vorgang existieren, durch welchen immer wieder für sehr kurze Zeit irgend eines oder mehrere der Systeme seine Unabhängigkeit verliert und eine wesentliche Änderung seines Zustandes erfährt. Dieser Vorgang, der eine »zufällige Störung« darstellt, ändert die vorhandene Verteilung in unberechenbarer Weise, braucht also gar nicht bekannt zu sein; er hat mit der physikalischen Konstitution der Systeme, welche der Berechnung zugrunde liegt, nichts zu tun und seine physikalische Natur ist gleichgiltig; aber er ist notwendig und ohne ihn wäre die statistische Methode nicht anwendbar. Die Systeme sind also physikalisch unabhängig voneinander definiert, sie gehorchen aber momentenweise ihren Definitionsgleichungen nicht. In diesen Momenten ändert sich ihr Zustand plötzlich, wir können sagen: in unstetiger Weise. Während die Zustandsvariabeln im allgemeinen reguläre Funktionen der Zeit sind, haben sie in den genannten Zeitpunkten singuläre Stellen. Ich möchte vorschlagen, Systeme der geschilderten Eigenschaft »quasi-regulär« zu nennen. Wir haben also die Tatsache erkannt: nur eine Gesamtheit quasi-regulärer, physikalischer Systeme kann Objekt der statistischen Mechanik sein.

Diese Tatsache der Methodik hat auch ihr ontologisches Gegenstück. Die Erscheinungen, welche durch die Massenwirkung einer großen Zahl von Teilphänomenen zustande kommen sollen, also Wärmevorgänge, Strahlungserscheinungen u. dgl., resultieren nur dann, wenn die beschriebenen »zufälligen Störungen« des regulären Ablaufs der Teilerscheinungen wirklich vorhanden sind. Sobald sie fehlen und daher die Methode der Statistik nicht anwendbar ist, bleibt auch die durch die Methode zu beschreibende Erscheinung aus. Eine noch so große Zahl umherschwirrender Moleküle würde keine Wärmeerscheinungen liefern, wenn keine Zusammenstöße vorkämen; man könnte an hnen weder Entropie noch Temperatur konstatieren.

13.

Aus unseren letzten Überlegungen ist klar geworden, daß die »zufälligen Störungen« es sind, welche aus einer vorhandenen Verteilung der Systeme auf den Wertebereich der Zustandsvariabeln eine andere herstellen; sie sind es, welche die Verteilung der Phasenpunkte im Zustandsraume ändern. Diese Änderung geschieht dadurch, daß immer irgend ein Punkt aus seiner Zelle heraus- und in eine andere geworfen wird. Die Punkte wandern dabei in Zickzacklinien, deren Lage und Form im allgemeinen ganz unbekannt ist. Hieraus folgt aber mit Notwendigkeit, daß durch jene ganz andere Wanderung, welche die Punkte vermöge der r Systemgleichungen ausführen und welche während des größten Teiles der Zeit die einzige ist, die Punkte nicht aus ihren Zellen herausgeführt werden. Diese aus den Systemgleichungen berechenbaren Bahnen verlaufen demnach ganz innerhalb einer Zelle. Dieses Resultat bedeutet eine fundamentale Vorschrift für die Konstruktion der Zelleneinteilung.

Der durch die Systemgleichungen beschriebene Vorgang statuiert die physikalische Unabhängigkeit eines jeden Systems von den anderen; dieser Vorgang geht also bei konstanter Energie vor sich. Daß trotzdem das System seine Energie nicht dauernd bewahrt, dafür sorgt die an den singulären Zeitstellen eintretende »zufällige Störung«, durch welche ein Energieübergang hergestellt wird. Die Bahn also, welche ein Punkt vermöge der definierenden Systemgleichungen beschreibt, ist eine Kurve

[1] Die Boltzmann'sche kinetische Gastheorie, welche gerade von der Betrachtung der Zusammenstöße ausgeht, fällt also in methodischer Hinsicht aus dem Rahmen der allgemeinen statistischen Mechanik heraus.

konstanter Energie. Da diese Bahnen eine Zelle nicht verlassen sollen, so darf ihre Tangente keine Komponente besitzen, welche auf der benachbarten Zellwand senkrecht steht. Dies ist dann und nur dann erfüllt, wenn die Zellen von Flächen konstanter Energie begrenzt werden, wenn also die Zelleneinteilung durch Flächen konstanter Energie (Energieflächen) hergestellt wird. Hierdurch ist die Form der Zellen bestimmt.

14.

Angenommen nun, es sei eine Gesamtheit von physikalischen Systemen der betrachteten Art gegeben und es handle sich darum, statistische Gesetzmäßigkeiten aufzusuchen, welche mit den an warmen Körpern beobachteten Gesetzen der Thermodynamik in Analogie gebracht werden können, dann ist die erste Frage, die zu beantworten ist, diese: Welche räumliche und zeitliche Komplexe von Phasen in der Gesamtheit sind die Elemente der Beobachtung? Das heißt, welche Größen in der Gesamtheit können als »beobachtbar« gelten? Der Zustand des einzelnen Systems, zum Beispiel des einzelnen Moleküls eines Gasmodells, aufgefaßt in einem bestimmten Zeitmoment, ist keine solche Größe. Diesen kann man nicht beobachten und wenn man es könnte, müßte für unsere Zwecke die betreffende Beobachtungsmethode als ausgeschlossen zu gelten haben, denn es handelt sich ja um die statistische Auffassuug der Erscheinungen und statistisch auffassen heißt Mengen sehen, nicht die Einzelelemente derselben. Dies gilt sowohl in räumlicher wie in zeitlicher Hinsicht; sobald man die thermischen Erscheinungen statistisch auffaßt, hat es keinen unmittelbaren Sinn, von dem Werte einer Größe, zum Beispiel der Temperatur, an einem bestimmten Punkte des Raumes in einem bestimmten Zeitmoment zu sprechen. Zu dem beobachtbaren Werte der Temperatur an einer Stelle eines Gases tragen vielmehr alle Moleküle in einem gewissen Umkreise bei und der beobachtete Wert ist der Durchschnittswert, gewonnen aus den Zuständen aller Moleküle, der nach einer bestimmten, erst zu formulierenden Regel auf einen bestimmten Raumpunkt zu reduzieren ist. Mit dieser Auffassung ist natürlich die praktische Methode der Messung in Übereinstimmung, da selbst die feinste Lötstelle eines Thermoelementes noch immer mit sehr vielen Molekülen in Berührung ist. Ähnliches gilt auch in zeitlicher Beziehung: nicht die momentane Phase etwa der Atomschwingungen im Molekül, sondern nur der zeitliche Durchschnittswert einer Reihe von Phasen hat als beobachtbar zu gelten und kein Temperaturmeßinstrument würde Schwankungen der Temperatur folgen können, die auch nur annähernd ro rasch aufeinanderfolgten wie die Zusammenstöße zwischen den Molekülen.

Hier erhebt sich nun eine interessante und für die ganze statistische Methode offenbar fundamentale Frage: Gibt es eine untere Grenze für die Zahl der Systeme, deren Zusammenwirken den Wert einer beobachtbaren thermischen Größe bestimmt? Gibt es eine von der Natur gesetzte Grenze, welche unabhängig von der Feinheit der Beobachtungsmethoden, im Wesen der statistischen Betrachtungsweise gelegen ist und die man nicht nach unten überschreiten darf, ohne daß Begriffe wie »Temperatur«, »Entropie« u. dgl. aufhören, einen Sinn zu haben? Denken wir uns also unsere Untersuchungsmethoden immer mehr verfeinert, denken wir uns etwa Temperaturmeßinstrumente konstruiert, mit deren Hilfe man Temperaturdifferenzen an zwei Raumstellen von molekularer Distanz noch wahrnehmen könnte, bei welchen Distanzen würde das, was man beobachtete, noch »Temperatur« sein? Nun ist freilich klar, daß die Frage, wie wir sie gestellt haben, noch schlecht formuliert ist. Die Mindestzahl der Einzelsysteme, welche zu einem beobachtbaren Werte beitragen, wird sicherlich nicht ein für allemal bestimmt sein, sondern von Nebenumständen, wie zum Beispiel der Gesamtzahl der Systeme, auch von der speziellen Natur der zu ermittelnden thermischen Größe abhängen. Auf sie kommt es aber auch nicht an, sondern auf die kleinste Zahl verschiedener Zustände oder Phasen, in denen sich die Einzelsysteme befinden oder genauer gesagt, auf den kleinsten Phasenbereich oder das kleinste Volumen des Phasenraumes. Präziser gestellt lautet also die Frage: Wenn beobachtbare thermische Größen als statistische Mittelwerte der unbeobachtbaren Phasen einer Gesamtheit physikalischer Systeme aufgefaßt werden sollen, gibt es dann ein a priori vorgeschriebenes Mini-

malvolum im Phasenraume, derart, daß zu der Mittelwertsbildung mindestens alle Phasen der innerhalb des Volumens gelegenen Elemente der Gesamtheit beitragen? Die Beantwortung dieser Frage von prinzipieller Bedeutung lautet bejahend. Man verdankt sie der Entdeckung von Max Planck, welche den wichtigsten Fortschritt auf dem Gebiete der statistischen Mechanik seit der Grundlegung derselben durch Maxwell und Boltzmann bedeutet und sie besagt: Das gesuchte Minimalvolumen existiert und ist als Zelle des Zustandsraumes zu wählen.

Dies ist also die physikalische Bedeutung der »Zelle«: Phasen, die innerhalb einer Zelle liegen, sind thermisch ununterscheidbar. Eine Zelle ist ein Individuum, an dem keine Bestandteile zu erkennen sind, ein statistisches Atom. Planck unterscheidet in einem anschaulichen Bilde die »mikroskopische« Betrachtung, welche die Einzelsysteme der Gesamtheit mit ihren momentanen Phasen unterscheidet, von der »makroskopischen«, wie sie der wirklichen Beobachtungsweise der Thermodynamik entspricht, welche nur statistische Durchschnittswerte wahrnimmt. Ich möchte das Bild etwas anders wenden: Denken wir uns die Menge der Elemente im Phasenraum gleichsam mit einem »thermischen Mikroskop« betrachtet; was wir damit sehen, sind thermische Zustände, also Bilder von Raumteilen des Phasenraumes mit ganzen Haufen von ununterscheidbaren Elementen, welche bei wachsender Auflösungskraft dieses ideellen Instrumentes mehr und mehr getrennt werden. Aber die auflösende Kraft des Mikroskops hat eine Grenze; bis zu den Elementen selbst dringen wir sicher nicht, sonst hätten wir keine thermischen Erscheinungen mehr vor uns; jedoch das Mikroskop gebietet schon früher Halt; die Phasenausdehnung einer Zelle ist die kürzeste Strecke, welche das Mikroskop noch auflöst.

Im § 9 ist darauf hingewiesen worden, daß bei jeder statistischen Untersuchung die Größe der Zelle ein willkürliches Element bildet und daß von der gewählten Größe die Genauigkeit der Untersuchung abhängt. Es ist klar, daß man ebensogut eine Rekrutentafel herstellen kann, in der die Körperlänge von 2 *cm* zu 2 *cm* variiert, wie eine solche, welche nach ganzen Zentimetern fortschreitet, und es ist klar, daß die letztere ein genaueres Bild von der Verteilung der Rekruten hinsichtlich ihrer Körperlänge geben wird als die erste. Man kann also die Größe der Zelle als ein Maß für die Genauigkeit der statistischen Untersuchung ansehen. Auch in unserem Fall muß ein solches Genauigkeitsmaß existieren. Nur ist es hier nicht von unsererer Willkür abhängig. Denn die Natur hat beides gegeben: die einzelnen Elemente mit ihren Zuständen, also die molekularen Vorgänge, wie deren statistische Zusammenfassung, die Wärmeerscheinungen; beides grundverschieden voneinander und doch beides vorhanden. Die Natur muß also auch das Genauigkeitsmaß der statistischen Zusammenfassung mitgegeben haben: die Größe der Zelle muß von vornherein physikalisch bestimmt sein und muß für einen Phasenraum von bestimmter Dimension zahlenmäßig angegeben werden können. Daß dem wirklich so ist und wie groß dieser Zahlenwert für einen besonders einfachen, nämlich den zweidimensionalen Phasenraum ist, das ist eben der Inhalt der Planck'schen Entdeckung; für den zweidimensionalen Phasenraum ist das Zellenvolumen ω identisch mit der Planck'schen Konstanten h. (Mit der Genauigkeit der experimentellen Beobachtungsmethode hat diese Überlegung natürlich gar nichts zu tun; handelt es sich ja doch um die prinzipielle Möglichkeit, daß Wärmeerscheinungen existieren können.)[1]

Planck freilich hat von seiner Entdeckung eine andere Auffassung. Wir haben im vorigen Paragraphen gesehen, daß eine Zelle von zwei Flächen konstanter Energie begrenzt wird. Da alle Elemente innerhalb der Zelle bei der statistischen Untersuchung zu einer Einheit zusammenzufassen sind, gehört der ganzen Zelle eine Energie zu, welche irgend ein Mittelwert der beiden Grenzenergien sein wird. Jede Zelle hat also einen bestimmten Energiewert und diese Energiewerte springen um einen gewissen Betrag, wenn man von einer Zelle zu einer benachbarten übergeht. Der ganze Energie-

[1]) Anm. bei der Korrektur: Als eine Anwendung dieser Auffassung kann man eine Erklärung des Bohr'schen Atommodells ansehen, welche ich in der Physikal. Zeitschr., 19, p. 505, gegeben habe.

inhalt des in Betracht kommenden Teiles des Phasenraumes teilt sich also in lauter Energieelemente oder »Energiequanten«. Diesen schreibt nun Planck physikalische Existenz zu und glaubt, daß die einzelnen Elemente die Energie nur quantenhaft austauschen können. Im Lichte der hier dargelegten Auffassung erscheint aber diese Meinung irrtümlich; die Existenz von Energiequanten wird durch die mit der statistischen Auffassung zusammenhängende und durch sie bedingte Unzerlegbarkeit der Zelle vorgetäuscht. Das Energiequantum wäre eine Sonderbarkeit, welche kein Physiker verstünde: in Wahrheit aber bedeutet die Entdeckung Planck's nicht die Auffindung einer Sonderbarkeit, sondern die einer tiefliegenden, fundamentalen Gesetzmäßigkeit der Natur.

Die Zelle ist für die statistische Betrachtungsweise die letzte unzerlegbare Einheit. Aber bis zu dieser dringen die Beobachtungen, auf welche sich die Gesetze der Thermodynamik stützen, nicht vor. Vielmehr sind die beobachteten Werte thermischer Größen Mittelwerte von der Art jener, die wir in § 7 definiert haben, welche also die gleichzeitige Betrachtung vieler Zellen zur Voraussetzung haben. Die wirklichen Beobachtungen geben aber auch noch derartige Mittelwerte nicht mit deren Momentanwerten, also nicht das Mittel der in einem bestimmten Zeitpunkte vorhandenen Phasen in einem gewissen Teile des Phasenraumes, sondern zeitliche Mittelwerte dieser Momentanwerte, wie sie sich aus der Betrachtung eines ganzen Zeitintervalles ergeben. Ist also $f\ (\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_r)$ eine Funktion der Phasenvariabeln, deren Mittelwert die beobachtbare, thermische Größe F liefert — es könnte beispielsweise f die translatorische Bewegungsenergie eines Gasmoleküls, F die Temperatur sein — dann ist

$$F = \frac{1}{\tau} \int_t^{t+\tau} \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} w_\lambda f_\lambda \, dt,$$

wenn angenommen wird, daß zum Zustandekommen von F die Beobachtung von N Elementen und n Zellen während der Zeitstrecke τ beigetragen haben. Da also die Beobachtung des »Momentanwertes« von F zur Zeit t in Wahrheit schon die Beobachtung der Gesamtheit während einer ganzen Zeitstrecke τ nötig macht, so ist F nur für Zeitpunkte bestimmt, welche um die Strecke τ auseinanderliegen; F ist also von vornherein auch nicht als stetige Funktion der Zeit anzunehmen; erst durch eine bestimmte Übereinkunft kann F in gewisser Weise durch eine stetige Funktion der Zeit approximiert werden. Es läge freilich nahe, F durch den Grenzwert zu definieren, dem sich der obige Ausdruck nähert, wenn $\tau = 0$ wird. Aber dieser Weg ist ungangbar, weil Sinn und Wesen der statistischen Methode ihn verbieten. Der momentane Zustand einer Gesamtheit von Elementen würde, auch wenn er beobachtbar wäre, keine thermische Größe liefern; diese kommt erst zustande durch die Betrachtung des Wechsels jener Zustände. Die momentane Verteilung der Bewegungsenergie unter den Gasmolekülen gibt keine Temperatur; diese erhält man erst durch die Betrachtung der beständigen Änderung dieser Verteilung infolge der Zusammenstöße; denn erst diese gibt Veranlassung zu statistischer Erfassung der Erscheinung.

Wenn also jenes Zeitintervall τ nicht null werden darf, wie groß muß es mindestens sein? Die Antwort lautet: Es muß mindestens gleich sein jener Zeit, während deren die Verteilungszahlen w_λ konstant bleiben. Während dieser Zeit verläßt kein Element seine Zelle und da die Elemente, welche innerhalb einer Zelle liegen, eine ununterscheidbare Einheit bilden, hat sich während dieser Zeit für die statistische Betrachtungsweise nichts geändert. Während dieser Zeit bewegt sich jeder Phasenpunkt regulär nach den Systemgleichungen und bei diesem Vorgange hat die Statistik nichts zu suchen, wie im § 12 auseinandergesetzt ist; erst der singuläre Vorgang, durch den ein Phasenpunkt seine Zelle verläßt, gibt Gelegenheit für statistische Betrachtungen. So stellt also auch in zeitlicher Beziehung die Zelle eine untrennbare Einheit dar. Alle Phasen eines Systems, die bei der Wanderung eines Phasenpunktes innerhalb einer Zelle durchstrichen werden, fließen zu einem einzigen Werte zusammen; die durch die Systemgleichungen beschriebene reguläre Bewegung bleibt unwahrnehmbar.

Aber auch bis zu diesen kürzesten Zeitintervallen dringen die wirklichen Beobachtungen nicht vor. Vielmehr sind die Zeitstrecken τ, welche zur Bestimmung der Mittelwerte, also zur Messung thermischer Größen »in einem bestimmten Zeitpunkt« benutzt werden, so lange, daß sie viele verschiedene Verteilungen w_λ aufweisen. Dies wird klar, wenn man bedenkt, daß eine Verteilung durch den Austritt auch nur eines Elements aus einer Zelle in eine neue übergeht, und wenn man zur Erläuterung die Tatsache heranzieht, daß ein Molekül eines Gases unter normalen Verhältnissen durchschnittlich rund 5 Milliarden Zusammenstöße in der Sekunde erlebt. Zu dem beobachteten Wert einer thermischen Größe tragen also viele Verteilungen bei. Und da in dem oben angeführten Ausdruck für diesen beobachteten Wert F die f_λ ein für allemal durch die Lagen der Zellen im Phasenraum bestimmt sind, sich aber mit der Zeit nicht ändern — denn dies könnte ja nur durch die Wanderung der Phasenpunkte innerhalb einer Zelle geschehen und diese Wanderung ist, wie eben auseinandergesetzt, unwahrnehmbar — so hat auf die zeitliche Änderung der beobachtbaren Größe F einzig und allein die zeitliche Änderung der Verteilungszahlen w_λ einen Einfluß. In welcher Weise sich diese ändern, wird für den zeitlichen Ablauf aller Wärmeerscheinungen betimmend sein.

15.

So sind wir an dem wichtigsten Punkte unserer Untersuchung angelangt. Wenn die Tatsachen der allgemeinen Thermodynamik statistisch begriffen werden sollen, so müssen die in deren beiden Hauptsätzen ausgedrückten Tatsachen ihr Abbild in statistischen Gesetzmäßigkeiten der von uns betrachteten Gesamtheit haben. Hierzu genügt es für die letztere zu zeigen, daß erstlich eine Größe von der Eigenschaft der Entropie existiert, und daß zweitens die mit Hilfe der Entropievermehrung definierte Wärmezufuhr sich in der Zunahme der Gesamtenergie der Systemgesamtheit sowie in der von außen aufgenommenen mechanischen Arbeit wiederfinde. Die erste Tatsache ist eine solche rein thermischer Natur, die sich in allen Gesamtheiten nachweisen lassen muß, wenn dieselben nur die im Vorhergehenden auseinandergesetzten Voraussetzungen für die Anwendbarkeit der Statistik erfüllen. Die zweite hingegen handelt von einer Verknüpfung thermischer und mechanischer Erscheinungen und könnte in unserem Falle erst aufgewiesen werden, wenn wir bestimmte spezialisierende Voraussetzungen über die an der Systemgesamtheit wirkenden äußeren Kräfte sowie über die an den Begrenzungen derselben auftretenden Druckkräfte gemacht haben. Um solche zu vermeiden, wollen wir uns an dieser Stelle bloß mit dem ersten, rein thermischen Problem beschäftigen.

Es werde angenommen, daß die betrachtete Gesamtheit physikalischer Systeme energetisch abgeschlossen sei, also die Gesamtenergie E der Systemgesamtheit bei allen Veränderungen konstant bleibe. Wir wollen nun die Zustandsänderung der N Systeme, welche zu dieser Gesamtheit konstanter Energie gehören, in folgender Weise verfolgen. Da der Zustand eines jeden Systems durch r Veränderliche bestimmt ist, so wird der Zustand der Gesamtheit durch die Angabe der Werte von Nr Veränderlichen vollständig beschrieben. Zur Darstellung der Zustandsveränderung möge also ein Raum von Nr Dimensionen — entsprechend dem Γ-Raum von P. und T. Ehrenfest[1] — dienen, welche wir auch als Γ-Raum bezeichnen wollen; der bisher stets betrachtete Phasenraum von r Dimensionen möge μ-Raum genannt werden. Ein bestimmter Punkt im Γ-Raum entspricht einem momentanen Zustande der Gesamtheit; jede Veränderung dieses Zustandes ist mit einer Wanderung des »darstellenden Punktes« im Γ-Raum verbunden, der so mit immer anderen Punkten des Raumes znsammenfällt. Die Bahn des darstellenden Punktes gibt also ein Bild der Zustandsänderung der Gesamtheit. Eine Eigenschaft dieser Bahn ist uns bekannt: da nämlich alle Zustandsänderungen der Gesamtheit bei konstanter Energie vor sich gehen sollen, ist den Nr Zustandsveränderlichen eine Gleichung, welche diese Tatsache ausspricht, auferlegt; die Lage des darstellenden Punktes ist also durch diese Gleichung beschränkt; es muß die Bahn desselben auf einer Fläche $Nr-1^{\text{ter}}$ Dimension, der Energiefläche, liegen.

[1] Enzyklopädie d. math. Wiss. IV 2 II, 32, §§ 9 b, 12 a.

Wie wir gesehen haben, sind die Veränderungen eines jeden der N Systeme, und daher die Bewegungen der entsprechenden Phasenpunkte im μ-Raume von zweierlei Art: »reguläre«, wie wir sie nannten, welche nach den Systemgleichungen geschehen, und bei denen jeder der Phasenpunkte in seiner Zelle bleibt; und »singuläre«, durch welche die Phasenpunkte aus einer Zelle in eine andere geschleudert werden. Während eines Zeitintervalles, in welchem nur reguläre Bewegungen der Phasenpunkte im μ-Raume vor sich gehen, ändert sich der Zustand der Gesamtheit nur sehr wenig, denn alle Nr Koordinaten erfahren nur Veränderungen von der Größenordnung der Längendimension einer Zelle des μ-Raumes. Hierbei wandert also auch der darstellende Punkt im Γ-Raume nur um ein entsprechend kleines Stück. Denkt man sich den Komplex aller möglichen Zustände der Gesamtheit, das heißt der Werte aller Nr Zustandskoordinaten, bei welchen jeder Phasenpunkt des μ-Raumes in seiner Zelle bleibt, so entspricht diesem ein kleiner, kontinuierlich zusammenhängender Bereich auf der Energiefläche des Γ-Raumes, eine »Zelle des Γ-Raumes«. Bleiben also die Phasenpunkte im μ-Raume in ihren Zellen, so bleibt auch der darstellende Punkt im Γ-Raume in seiner Zelle. Verläßt aber auch nur ein Phasenpunkt im μ-Raume seine Zelle, um in irgend eine andere einzutreten, so verläßt auch der darstellende Punkt im Γ-Raume seine Zelle und gelangt an irgend eine andere auf der Energiefläche gelegene Stelle. Man kann in der Umgebung dieser Stelle wieder eine Zelle, das heißt einen Bereich konstruieren, der für die neue Verteilung der Phasenpunkte im μ-Raume dem Inbegriff aller möglichen Werte der Nr Zustandskoordinaten entspricht, bei denen kein Phasenpunkt seine Zelle verläßt. Man erkennt so, daß man im Γ-Raume so viele Zellen konstruieren kann, als es verschiedene Komplexionen für die Verteilung der Phasenpunkte auf die Zellen des μ-Raumes gibt. Die Gesamtheit aller dieser auf der Energiefläche des Γ-Raumes gelegenen Zellen repräsentiert den ganzen Bereich, in dem sich der darstellende Punkt bewegen kann, nämlich den Inbegriff aller möglichen Zustände der Systemgesamtheit, welche den gegebenen Bedingungen entsprechen. Der darstellende Punkt bleibt bei seiner Wanderung genau so lange in einer Zelle des Γ-Raumes, als kein Austritt eines Phasenpunktes aus einer Zelle des μ-Raumes erfolgt.

Die Wanderung des darstellenden Punktes auf der Energiefläche des Γ-Raumes bedeutet stets eine Änderung des physikalischen Zustandes der Systemgesamtheit; sie bedeutet aber nicht immer auch eine Änderung des beobachtbaren Zustandes derselben. Zuvörderst haben wir festgestellt, daß keine Änderung des beobachtbaren Zustandes eintritt, solange die Phasenpunkte des μ-Raumes ihre Zellen nicht verlassen; also entspricht dem Stücke der Bahn des darstellenden Punktes im Γ-Raume, welches innerhalb einer Zelle liegt, keine Änderung des beobachtbaren Zustandes der Systemgesamtheit. Ferner sind für den beobachtbaren Zustand zwei Komplexionen als gleich anzusehen, welche dieselben Verteilungszahlen w_λ liefern; denn der beobachtbare Zustand hängt nur von den Werten der w_λ ab. Zu derselben Verteilung, also demselben Komplex von Verteilungszahlen w_λ, gehören aber, wie im § 1 auseinandergesetzt ist, eine große Zahl von Komplexionen, nämlich die in A) angegebene Zahl z. Da im Γ-Raume jeder Komplexion eine Zelle entspricht, bedeutet dies, daß immer eine gewisse Zahl z von Zellen des Γ-Raumes — die wir zusammen nach P. und T. Ehrenfest[1] einen Stern nennen wollen — zusammengehört, derart, daß das Durchwandern aller solcher zu einem Stern gehöriger Zellen vonseiten des darstellenden Punktes demselben beobachtbaren Zustand entspricht. Die Zellen des Raumes ordnen sich also in lauter Gruppen, die Sterne, und zwar ist ein Stern um so reicher an Zellen, je größer die der entsprechenden Verteilung w_λ zugehörige Zahl z ist. Am zellreichsten ist also der Stern, der zu der Verteilung mit dem Maximum der Zahlen z gehört, und diese ist in unserem Falle, da die Gesamtenergie E konstant bleiben soll, keine andere als die in § 3 berechnete Verteilung

$$w_\lambda = a\, e^{-\mu E_\lambda}, \quad (\lambda = 0, 1, 2 \ldots n-1) \tag{2}$$

wo jetzt E_λ die mittlere Energie der $\lambda + 1^{\text{ten}}$ Zelle bedeutet.

---

[1] l. c. § 12 b.

Indem der physikalische Zustand der Systemgesamtheit sich ändert, wandert der darstellende Punkt im Γ-Raume von Zelle zu Zelle. Eine Verteilung w_λ folgt auf die andere, aber von Zeit zu Zeit wird sich eine Verteilung wiederholen, wenn der darstellende Punkt die Zelle eines Sternes durchwandert, den er schon vorher besucht hatte. Der Ablauf des beobachtbaren Geschehens wird wesentlich davon abhängen, welcher Stern häufig, welcher selten besucht wird; dies aber hängt von der Natur jener Kräfte ab, welche die Phasenpunkte des μ-Raumes aus ihren Zellen werfen. Um also über die Richtung, in der die beobachtbaren thermischen Prozesse sich abspielen, etwas aussagen zu können, werden wir von den Kräften, welche auf die einzelnen Systeme der Gesamtheit wirken, und deren Zusammenwirken die Änderung des physikalischen Zustandes der Gesamtheit bestimmt, eine gewisse Voraussetzung machen müssen. Wir wollen diese in das folgende Postulat kleiden:

Die auf die einzelnen Systeme der Gesamtheit wirkenden Kräfte sollen von der Art sein, daß durch sie der darstellende Punkt nach genügend langer Zeit in jede Zelle auf der Energiefläche des Γ-Raumes gelangt, und zwar durchschnittlich in jede Zelle gleich oft.

Ich möchte mir erlauben, in Anlehnung an das von Boltzmann geprägte Wort »ergodisch« derlei Gesamtheiten ergozonal zu nennen, weil nicht wie dort eine Aussage über die exakte Bahn (ὁδος) des darstellenden Punktes gemacht wird, sondern gleichsam nur über einen Streifen (ζωνη) von Zellenbreite, in welchem die genannte Bahn liegen soll. Wir machen nun die Hypothese:

Es gibt ergozonale Gesamtheiten.

Diese Hypothese leistet für unseren Aufbau der statistischen Mechanik ähnliche Dienste wie die Ergodenhypothese für die klassische statistische Mechanik. Auch ist die Verwandtschaft der von uns gemachten Hypothese mit der Ergodenhypothese in die Augen springend. Es leuchtet aber zugleich ein, daß die erstere unendlich viel weniger verlangt als die letztere, welche bekanntlich die Existenz eines mechanischen Systems annimmt, dessen darstellender Punkt durch jeden Punkt der Energiefläche hindurchwandert. Es scheint mir, daß die hier versuchte Formulierung der Hypothese die wahre Meinung von Boltzmann und Maxwell darstellt.

Die unmittelbare Konsequenz der Hypothese ist die, daß das Eindringen des darstellenden Punktes in jede Zelle des Γ-Raumes eine Reihe von lauter gleich möglichen Fällen im Sinne der Wahrscheinlichkeitsrechnung darstellt. Damit aber die Zellen des Γ-Raumes auch Gebiete gleicher Wahrscheinlichkeit darstellen, müssen sie gleiches Volumen haben. Da jedoch die Zelleneinteilung schon durch die bisherige Vorschrift vollkommen gegeben ist und für Willkür keinen Platz mehr läßt, so kann diese neue Forderung nur infolge einer Maßeigenschaft des Raumes selbst erfüllt werden. In der Tat müssen wir uns erinnern, daß in der Konstruktion des μ- wie des Γ-Raumes noch eine gewisse Unbestimmtheit liegt. Als Koordinaten des μ-Raumes sollten nämlich die Zustandsvariablen eines Systems der Gesamtheit, als jene des Γ-Raumes die Zustandsveränderlichen der ganzen Gesamtheit gewählt werden. Nun ist aber die Wahl der unabhängigen Veränderlichen, durch welche der Zustand eines physikalischen Systems beschrieben wird, bis zu einem gewissen Grad willkürlich. So kann beispielsweise der Zustand eines Gasmoleküls der kinetischen Gastheorie außer durch seine drei Raumkoordinaten ebensogut durch die drei Komponenten seiner Geschwindigkeit wie durch jene des Quadrates der Geschwindigkeit beschrieben werden. Durch die genannte Forderung wird nun diese Willkür wesentlich eingeschränkt; und umgekehrt, die Willkür in der Auswahl der Koordinaten des Γ-Raumes gestattet, jene Forderung zu erfüllen.

Betrachten wir irgend zwei Zellen des Γ-Raumes. Von einem Punkte im Innern der ersten Zelle A, welcher einem bestimmten Zustande der Gesamtheit als Anfangszustand entspricht, gelangt der darstellende Punkt nach einer gewissen Wanderung zu einem Punkte innerhalb der zweiten Zelle B, welcher dem Endzustande der Gesamtheit entspricht. Die beiden Punkte werden also durch die Gleichungen, welche die Wanderung des darstellenden Punktes, das heißt die Zustandsänderung der Systemgesamtheit beschreiben, ineinander transformiert. Ebenso wird die ganze im Innern der ersten

Zelle gelegene Punktmannigfaltigkeit, welche einer kontinuierlichen Menge möglicher Anfangszustände der Gesamtheit entspricht, in die innerhalb der zweiten Zelle gelegene Punktmenge transformiert. Die Forderung, daß die Volumina der beiden Zellen gleich seien, lautet

$$\iint_{(A)} \ldots \int d\xi_1^1\, d\xi_2^1 \ldots\; d\xi_r^1\, d\xi_1^2 \ldots d\xi_r^2 \ldots d\xi_r^N = \iint_{(B)} \ldots \int d\xi_1^1\, d\xi_2^1\; \ldots d\xi_r^N,$$

indem wir die Koordinaten des s^{ten} Systems der Gesamtheit mit $\xi_1^s, \xi_2^s \ldots \xi_r^s$ bezeichnen; und zwar soll diese Gleichheit infolge der Gleichungen statthaben, welche den der Zelle A entsprechenden Zustand in jenen der Zelle B transformiert. Man erkennt nun sogleich, daß dieser Forderung nach dem Liouville'schen Satz wirklich genügt wird, sofern die Gesamtheit ein mechanisches System ist, und sobald man zur Beschreibung desselben als Zustandsveränderliche die generalisierten Koordinaten und Impulse verwendet. Damit ist eine Vorschrift für die Wahl der unabhängigen Veränderlichen gegeben.

Nunmehr ist es klar, daß auf die Wanderung des darstellenden Punktes statistische Überlegungen angewendet werden können. Mag dieselbe auf welcher Bahn immer erfolgen, es werden doch, wenn man nur eine genügend lange Zeit abwartet, jene Sterne häufiger besucht werden, zu denen mehr Zellen gehören, am häufigsten also der zellreichste Stern. Denken wir uns in einem bestimmten Moment eine gewisse Verteilung der Systeme der Gesamtheit auf den möglichen Bereich der Phasenvariablen, also eine gewisse Lage des darstellenden Punktes im Γ-Raume. Lassen wir eine Zeit τ verstreichen; während derselben mögen eine große Zahl von Verteilungen miteinander abwechseln, so daß der darstellende Punkt durch viele Zellen wandert. Denken wir uns für jeden Stern die Zahl der Zellen bestimmt, durch welche der darstellende Punkt hindurchgewandert ist, und bilden wir die Verhältnisse dieser Zahlen zu der Gesamtzahl aller Zellen, die der Punkt während der Zeit τ durchwandert hat; wir erhalten so die relative Häufigkeit, mit der eine jede der Verteilungen, welche zu den durchwanderten Sternen gehören, in der Zeit τ vorhanden gewesen ist. Wie wir im vorigen Paragraphen gesehen haben, wird eine jede dieser Verteilungen zu dem »Momentanwerte« einer beobachtbaren thermodynamischen Größe F — für die Beobachtung ist τ »unmeßbar klein« — beitragen. Wenn nun auch die Zahl der Verteilungen, welche sich während der Zeit τ einstellen, groß ist, so wird sich doch wegen der sehr großen Zahl von Phasenpunkten, die in einer Zelle des μ-Raumes sind, die ursprüngliche Verteilung im Laufe der Zeit τ nur wenig geändert haben. Wenn zum Beispiel während dieser Zeit aus irgend einer Zelle eine Million Phasenpunkte austreten, vorher aber eine Billion derselben darin gewesen war, so bedeutet dieser Vorgang eine Änderung des Zellinhaltes um nicht mehr als ein Milliontel. Die Verteilung der Phasenpunkte auf die Zellen des μ-Raumes ändert sich also nur sehr allmählich, und man kann in diesem Sinne sagen, daß man die Verteilungen selbst beobachtet. Je größe die relative Häufigkeit einer Verteilung ist, umso länger wird sie zu dauern scheinen, weil sie von Zeit zu Zeit wiederkehrt und sich dazwischen nur unmerklich geändert hat. Die Geschwindigkeit, mit der sich die Verteilungen zu ändern scheinen, wird also umso kleiner, je größer die relative Häufigkeit derselben ist. Zugleich erkennt man, daß sich der beobachtbare Vorgang in der Richtung von selteneren zu häufigeren Verteilungen ändern muß. Für die häufigste Verteilung, welche immer wiederkehrt, wird die scheinbare Änderungsgeschwindigkeit des beobachtbaren Vorganges null, sie entspricht also dem stationären Zustande des thermodynamischen Gleichgewichts. Nun kann man nach dem Bernoulli'schen Theorem der Wahrscheinlichkeitsrechnung bei einer sehr großen Zahl von Realisierungen eines Ereignisses, wie wir sie hier vor uns haben, die relative Häufigkeit desselben nahezu mit der Wahrscheinlichkeit desselben identisch annehmen. Demnach erkennt man, daß die Wahrscheinlichkeit einer Verteilung — und jede monoton wachsende Funktion derselben — die Eigenschaft der Entropie eines abgeschlossenen Körpersystems hat, beständig zu wachsen. Ihr Grenzwert, der strenge genommen erst aus der Beobachtung unendlich langer Zeiten sich ergäbe, deckt sich mit dem Verhältnis der Größe z der Gleichung A in § 1 zur Gesamtzahl aller möglichen Verteilungen, wenn man in z für

die Verteilungszahlen w_λ die aus 2) folgenden Werte einsetzt. Dieser Grenzwert entspricht also dem Maximum der Entropie, wie es sich für den Zustand des thermodynamischen Gleichgewichts einstellt. In der Abbildung thermodynamischer Tatsachen durch statistische Eigenschaften der Systemgesamtheit wird also die Entropie S des thermodynamischen Gleichgewichts dargestellt durch eine Funktion von

$$\frac{N!\,(n-1)!}{(N+n-1)!}\,z_m,$$

wenn z_m das Maximum von z bedeutet. Welche Funktion es ist, kann man durch das Studium eines speziellen Falles, zum Beispiel des klassischen Gasmodells, erkennen, an welchem letzteren Falle bekanntlich Boltzmann durch direkte Untersuchung der Zusammenstöße die Natur der fraglichen Funktion aufgedeckt hat. Man kann aber durch eine Überlegung allgemeinerer Art, wie sie Planck[1] angestellt hat, schon einen wichtigen Aufschluß gewinnen. Vergleicht man nämlich zwei voneinander unabhängige Gesamtheiten, für welche die Zahl aller möglichen Verteilungen, also die Zahl

$$Z = \frac{(N+n-1)!}{N!\,(n-1)!}$$

denselben Wert hat, so findet man aus dem Additionstheorem der Entropien und dem Multiplikationstheorem der Wahrscheinlichkeiten, daß die fragliche Funktion die Gestalt haben muß

$$S = k \lg \frac{z_m}{Z} + C,$$

wo k und C zwei Integrationskonstanten sind, deren letztere noch von Z abhängen kann. Die Konstante k hingegen ist ein reiner Maßfaktor, dessen Zahlwert bestimmt ist, sobald man das Maßsystem für die Entropie festgelegt hat.

16.

Um zu entscheiden, in welcher Weise C von Z abhängt, wollen wir einen etwas spezielleren sehr wichtigen Fall näher betrachten.

Man erkennt zunächst, wenn man sich den Wert für z_m aus *1)* und *2)* eingesetzt denkt, daß allgemein

$$S = -kN \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} w_\lambda \lg w_\lambda + k \lg \frac{N!\,(n-1)!}{(N+n-1)!} + C;$$

oder vermöge der Gleichungen 3) und 4)

$$S = -kN\left(\lg a - \mu\,\frac{\mathrm{E}}{N}\right) + k \lg \frac{N!\,(n-1)!}{(N+n-1)!} + C. \tag{23}$$

Die Verteilungskonstanten a und μ können aus 3) und 4) nur ausgerechnet werden, wenn die Zellenenergie E_λ als Funktion des Index λ gegeben ist. Es ist aber von vornherein klar, daß, wie immer die Gestalt dieser Funktion, d. h. der Energiefunktion $\Pi(\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_r)$ sein mag, die berechneten Werte von a und μ außer von N, n, E nur noch abhängen können von Konstanten, welche im Ausdruck für Π vorkommen, welche also die physikalische Konstitution der Einzelsysteme bestimmen, und von der Begrenzung des Phasenraumteiles, in welchem die Verteilung vorgenommen wird. Es ist nun wichtig zu konstatieren, daß gerade in dem Spezialfall, der im § 4 besprochen ist, der Wert von S von der Art der Begrenzung unabhängig ist.

In diesem Falle ist nämlich E_λ durch Gleichung 7) bestimmt, und die einzige die Begrenzung des betrachteten Phasenraumteils bestimmende Konstante ist C_n, welche nur in der Verbindung $n^{-\frac{2}{r}} C_n$

[1] Theorie der Wärmestrahlung, 2. Aufl., § 119.

vorkommt. Nun drückt sich aber die Zellenzahl n durch das Volum Ω des Phasenraumteils und das Volum ω einer Zelle aus in der Form

$$n = \frac{\Omega}{\omega};$$

und da

$$\Omega = \frac{(2\pi)^{\frac{r}{2}}}{\Gamma\left(1+\frac{r}{2}\right)}(c_1 c_2 \ldots c_r)^{-\frac{1}{2}} C_n^{\frac{r}{2}},$$

so ist

$$n^{-\frac{2}{r}} C_n = \omega^{\frac{2}{r}} \Omega^{-\frac{2}{r}} C_n = \frac{\Gamma^{\frac{2}{r}}\left(1+\frac{r}{2}\right)}{2\pi}(c_1 c_2 \ldots c_r)^{\frac{1}{r}} \omega^{\frac{2}{r}},$$

enthält also C_n nicht mehr; diese Größe fällt vollständig heraus. Hieraus aber folgt, daß das Volumen des betrachteten Phasenraumteils keine Rolle spielt und in dem Ausdruck für die Entropie nicht vorkommt. Aus diesem Umstande aber muß man schließen, daß in dem Falle, in dem die Energie eines Systems der Gesamtheit die Form II *a* hat, der Ausdruck für die Entropie auch das gewöhnliche dreidimensionale Volumen der Systemgesamtheit nicht enthält; vielmehr hängt derselbe außer von der physikalischen Konstitution der Systeme — den Konstanten $c_1, c_2 \ldots c_r$ — nur noch von der Gesamtenergie E und der Zahl N der Systeme ab (wenn wir von den Integrationskonstanten k, C und der für diese Überlegung belanglosen Konstanten ω absehen). Identifizieren wir also das Volumen und die Gesamtenergie der Systemgesamtheit bezüglich mit dem Volumen und der inneren Energie des Körpers, dessen thermodynamische Eigenschaften wir durch das statistische Verhalten der Gesamtheit abbilden, so würde die genannte Tatsache bedeuten, daß in dem besprochenen Falle die Entropie eines Körpers keine Änderung erführe, wenn man bei konstanter Masse und konstanter Energie das Volumen änderte. Da wir diese Folgerung als mit der Erfahrung nicht in Übereinstimmung stehend ablehnen, so bleibt uns nur ein Ausweg übrig: unter den r Phasenveränderlichen $\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_r$ müssen die drei Raumkoordinaten fehlen; denn nur in diesem Falle verliert der gezogene Schluß seine Kraft. Wenn also die Energie durch einen Ausdruck von der Form II *a)* gegeben ist, so muß sie von der Lage des Schwerpunkts des Einzelsystems unabhängig sein, sie kann die entsprechende potentielle Energie nicht enthalten. Da aber die Raumkoordinaten zweifellos zu den Zustandsvariablen gehören, so ist dies nur so möglich, daß sich das Verteilungsproblem in zwei (oder mehrere) voneinander vollkommen unabhängige Teile spaltet: die Verteilung im Phasenraume der $\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_r$ bei konstanter Gesamtenergie E geschieht ganz unabhängig von der Verteilung im Raume der noch übrigen anderen Variablen, zu welchen jedenfalls die gewöhnlichen Raumkoordinaten x, y, z gehören.

Wir wollen nun den Fall annehmen, daß die letztere Gruppe von Veränderlichen, welche außer den $\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_r$ den Zustand der Systeme bestimmen, nur in den drei Raumkoordinaten x, y, z bestehe. Dieser Fall ist beispielsweise realisiert bei einem idealen Gase, auf welches keine äußeren Kräfte wirken und dessen Moleküle sich wie einfache Massenpunkte bewegen; dann sind nämlich ξ_1, ξ_2, ξ_3 die drei Impulskomponenten. In einem solchen Falle hat man es also außer der Verteilung im ξ_1-, ξ_2-…-ξ_r-Raume bei vorgegebener Gesamtenergie und ganz unabhängig von ihr mit einer Verteilung im gewöhnlichen dreidimensionalen Raume der x, y, z zu tun; für diese letztere Verteilung aber besteht keine beschränkende Bedingung nach Art der unter II in § 2 genannten. Für die erste Verteilung existiert eine Entropie, deren Ausdruck durch 23 gegeben ist und die wir mit S_1 bezeichnen wollen. Analog können wir auch für die Verteilung im x-y-z-Raume eine Entropie S_2 definieren, welche wieder

gegeben ist durch

$$S_2 = -kN \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} w_\lambda \lg w_\lambda + k \lg \frac{N!(n'-1)!}{(N+n'-1)!} + C',$$

aber mit dem Unterschiede, daß hier die häufigste Verteilung w_λ durch Gleichung 1 bestimmt, also die gleichförmige ist. Dabei können n', C' andere Zahlenwerte haben als die entsprechenden Größen n, C in 23), nur ist C' dieselbe Funktion von

$$Z' = \frac{(N+n'-1)!}{N!(n'-1)!}$$

wie C von Z. Daher hat man

$$S_2 = kN \lg n' + k \lg \frac{N!(n'-1)!}{(N+n'-1)!} + C'$$

Die Gesamtentropie S ist die Summe der Entropien S_1 und S_2, daher

$$S = kN\left(\mu \frac{\mathrm{E}}{N} - \lg a + \lg n'\right) + k \lg \frac{N!(n-1)!}{(N+n-1)!} + C + k \lg \frac{N!(n'-1)!}{(N+n'-1)!} + C'.$$

Dabei ist die Zellenzahl

$$n' = \frac{V}{v},$$

wenn V das Volumen des Raumteils im x-y-z-Raume bedeutet, in welchem die Verteilung vorzunehmen ist, also das wirkliche Volumen der Gesamtheit, v aber das entsprechende Volumen einer Zelle. Dies eingesetzt, ergibt für die Entropie

$$S = kN\left(\mu \frac{\mathrm{E}}{N} - \lg a + \lg V\right) - k \lg Z + C - k \lg Z'(V) + C' - k N \lg v.$$

Dabei ist hervorgehoben, daß Z', also auch C' das Volumen V enthalten. Aber an dem Beispiele des idealen Gases, für welches die Art der Abhängigkeit der Entropie vom Volumen bekannt ist, erkennt man, daß V in Z' und C' aus dem Ausdrucke für S verschwinden muß. Hieraus folgt allgemein: die Integrationskonstante C muß die Form haben

$$C = k \lg Z + S_0,$$

wo S_0 nunmehr von Z unabhängig ist, also höchstens die für das Problem völlig konstanten Größen (wie N, ω respektive v) enthalten kann. So finden wir den allgemeinen Ausdruck für die Entropie

$$S = k \lg z_m + S_0. \tag{B)}$$

und für die Entropie eines energetisch abgeschlossenen Systems

$$S = kN\left(\mu \frac{\mathrm{E}}{N} - \lg a\right) + S_0. \tag{B')}$$

Es empfiehlt sich, die Begriffe »elementare Energie« $\varepsilon = \frac{\mathrm{E}}{N}$ und »elementare Entropie« $\sigma = \frac{S}{N}$ einzuführen; setzt man noch $\sigma_0 = \frac{S_0}{N}$, so hat man also

$$\sigma = \frac{k}{N} \lg z_m + \sigma_0 \tag{β)}$$

und für ein abgeschlossenes System

$$\sigma = k(\mu\varepsilon - \lg a) + \sigma_0. \tag{β')}$$

Die elementare Energie deckt sich nach der Definitionsgleichung II mit der mittleren Energie.

Wir denken uns nach dem Vorgange Planck's Energie und Volumen als unabhängige Variable gewählt. Dann ist die Temperatur T bestimmt durch die Gleichung

$$\frac{1}{T} = \left(\frac{\partial S}{\partial \mathrm{E}}\right)_{\mathrm{V}} \qquad C)$$

oder

$$\frac{1}{T} = \left(\frac{\partial \sigma}{\partial \varepsilon}\right)_{\mathrm{V}} \qquad \gamma)$$

Aus Gleichung β' folgt, da nach 3 a durch μ ausdrückbar ist,

$$\sigma = k\left(\mu\varepsilon + \lg \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-\mu \mathrm{E}_\lambda}\right) + \sigma_0$$

daher

$$\frac{\partial \sigma}{\partial \varepsilon} = k\mu + k\left[\varepsilon - \frac{\sum\limits_{\lambda=0}^{\lambda=n=1} \mathrm{E}_\lambda e^{-\mu \mathrm{E}_\lambda}}{\sum\limits_{\lambda=0}^{\lambda=n=1} e^{-\mu \mathrm{E}_\lambda}}\right]\frac{\partial \mu}{\partial \varepsilon}$$

und wegen Gleichung 4

$$\frac{\partial \sigma}{\partial \varepsilon} = k\mu.$$

Demnach erhalten wir aus γ als physikalische Bedeutung der Konstanten μ

$$\mu = \frac{1}{kT}. \qquad 24)$$

Wir wollen den Begriff der »elementaren spezifischen Wärme«

$$c = \frac{\partial \varepsilon}{\partial T} \qquad \delta)$$

einführen. Eine zu ihrer Berechnung bequeme Beziehung sei hier abgeleitet: Nennen wir (siehe Gleichung 3)

$$-\lg a = \lg \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-\mu \mathrm{E}_\lambda} = Q,$$

so ist nach Gleichung 3 und 4

$$-\frac{\partial Q}{\partial \mu} = \frac{\sum\limits_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \mathrm{E}_\lambda e^{-\mu \mathrm{E}_\lambda}}{\sum\limits_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-\mu \mathrm{E}_\lambda}} = \varepsilon.$$

Daher ist nach 24

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial T} = \frac{\partial \varepsilon}{\partial \mu}\frac{\partial \mu}{\partial T} = \frac{\partial^2 Q}{\partial \mu^2}\frac{1}{kT^2}$$

oder

$$c = k\mu^2 \frac{\partial^2 Q}{\partial \mu^2}. \qquad 25)$$

Der Druck p ist definiert durch

$$\frac{p}{T} = \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_E.$$

Wir wollen diese Beziehung nur anwenden auf den Fall, daß die Energiefunktion die Form II a habe. Wie wir oben gesehen haben, trennen sich in diesem Fall die Raumkoordinaten von den übrigen im Energieausdruck vertretenen Zustandsveränderlichen $\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_r$ ab, und falls jene die einzigen außer den $\xi_\varkappa$ noch übrigen Veränderlichen sind, hat die Entropie die Form

$$S = k N (\mu\varepsilon - \lg a + \lg V) + S_0,$$

wo a und μ von V unabhängig sind. Also ist

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_E = k \frac{N}{V}$$

und daher der Druck

$$p = k N \frac{T}{V}.$$

Für alle solche Gesamtheiten, resp. für die durch sie abgebildeten Körper, besteht also die Zustandsgleichung der idealen Gase

$$p V = k N T.$$

17.

Es werde nunmehr folgender Spezialfall betrachtet: Wir setzen voraus, daß sich die Energie in zwei Teile teilen lasse

$$\mathrm{H}(\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_r) = \mathrm{H}_1(\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_r) + \mathrm{H}_2(\xi_{\varkappa+1}, \xi_{\varkappa+2} \ldots \xi_r) \qquad \text{III)}$$

derart, daß

$$2\,\mathrm{H}_1(\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_r) = c_1 \xi_1^2 + c_2 \xi_2^2 + \ldots + c_\varkappa \xi_\varkappa^2, \qquad \text{III}\,a)$$

wo die Koeffizienten $c_1\, c_2 \ldots$ noch von $\xi_{\varkappa+1}, \xi_{\varkappa+2} \ldots \xi_r$ abhängen können. Es hat also der Anteil H_1 die im § 4 behandelte Form II a, mit dem Unterschiede, daß dort die Koeffizienten c_λ konstant angenommen waren; der Teil H_2 kann eine beliebige Funktion sein, soll aber die Variablen $\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_\varkappa$ nicht enthalten.

Für die mechanischen Systeme, deren Energie diese Form aufweist, denken wir uns nun das Verteilungsproblem durchgeführt, indem wir ihre Phasenpunkte in einem Raumteile Ω des Zustandsraumes in allen möglichen Weisen verteilen. Es werde dabei derjenige Bereich betrachtet, für welchen die Werte der Variablen $\xi_{\varkappa+1}, \xi_{\varkappa+2} \ldots \xi_r$ zwischen den Größen

$$\xi_{\varkappa+1} = a_{\varkappa+1}, \quad \xi_{\varkappa+2} = a_{\varkappa+2}, \ldots \xi_r = a_r$$

und

$$\bar{\xi}_{\varkappa+1} = a_{\varkappa+1} + \delta_{\varkappa+1}, \; \xi_{\varkappa+2} = a_{\varkappa+2} + \delta_{\varkappa+2} \ldots \bar{\xi}_r = a_r + \delta_r$$

liegen. Die $a_{\varkappa+1}, \ldots a_r$ sind irgendwelche konstante Werte der Koordinaten $\xi_{\varkappa+1}, \ldots \xi_r$, die nur der Bedingung unterworfen sind, daß sie innerhalb des Raumes Ω liegen sollen; die $\delta_{\varkappa+1}, \ldots \delta_r$ sind kleine Größen von höchstens Zellenbreite, so daß der betrachtete Bereich ganz innerhalb einer Zelle gelegen ist, soweit die Koordinaten $\xi_{\varkappa+1}, \ldots \xi_r$ in Betracht kommen. Wie wir wissen, wird die Zelleneinteilung durch Herstellung der Flächenschar

$$\mathrm{H}(\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_r) = \text{konst.}$$

bewirkt. Denken wir uns nun den Koordinaten $\xi_{\varkappa+1}, \xi_{\varkappa+2} \ldots \xi_r$ zunächst die konstanten Werte $a_{\varkappa+1}, a_{\varkappa+2} \ldots a_r$ erteilt, während $\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_\varkappa$ alle überhaupt erlaubten Werte durchlaufen können, so werden $\mathrm{H}_2, c_1, c_2 \ldots c_\varkappa$ konstant, und die Gleichung der Flächenschar reduziert sich auf

$$c_1 \xi_1^2 + c_2 \xi_2^2 + \ldots + c_\varkappa \xi_\varkappa^2 = \text{konst.};$$

diese Hyperellipsoide sind eben die Schnitte der obigen Flächenschar mit dem ξ_1-ξ_2-...$\xi_\varkappa$-Raume. Für den Schnitt mit diesem $\varkappa$-dimensionalen Raume verhält sich demnach alles genau ebenso, wie wenn die Energie die Form II *a* hätte. Denken wir uns also bei festen Werten $\xi_{\varkappa+1} = a_{\varkappa+1}, \xi_{\varkappa+2} = a_{\varkappa+2}, \ldots \xi_r = a_r$ die Verteilung im ξ_1-ξ_2-...$\xi_\varkappa$-Raume durchgeführt, das heißt mit jenen Phasenpunkten, deren Koordinaten $\xi_{\varkappa+1}, \ldots \xi_r$ zufällig gerade die genannten Werte haben, so gelten für diese Verteilung alle Konsequenzen, welche wir im ersten Abschnitt aus der Form II *a* gezogen haben. Vor allem gilt also auch das Resultat des § 8, daß jedes Glied $c_\lambda \xi_\lambda^2$ denselben Mittelwert bei der Verteilung im ξ_1-ξ_2-...$\xi_\varkappa$-Raume hat. Diesen Schluß kann man aber auch ziehen, wenn $\xi_{\varkappa+1}, \xi_{\varkappa+2} \ldots \xi_r$ nicht gerade die Werte $a_{\varkappa+1}, a_{\varkappa+2}, \ldots a_r$, sondern irgendwelche Werte innerhalb der Grenzen $a_{\varkappa+1}, a_{\varkappa+2} \ldots a_r$ bis respektive $a_{\varkappa+1} + \delta_{\varkappa+1}, a_{\varkappa+2} + \delta_{\varkappa+2}, \ldots a_r + \delta_r$ haben, weil sich innerhalb dieses Bereichs von Zellenbreite die statistische Verteilung im $\xi_{\varkappa+1}$-$\xi_{\varkappa+2}$-...-ξ_r-Raume nicht ändert. Damit ist also bewiesen, daß für die betrachteten Werte der Variablen $\xi_{\varkappa+1}, \xi_{\varkappa+2} \ldots \xi_r$ der Mittelwert einer jeden der Größen $c_\lambda \xi_\lambda$ ($\lambda^2 = 1, 2 \ldots \varkappa$) in dem Ausdruck für H_1 im ξ_1-ξ_2-...$\xi_\varkappa$-Raume derselbe ist.

Gilt dieser Satz aber innerhalb des betrachteten Intervalls von Zellenbreite der $\xi_{\varkappa+1}, \xi_{\varkappa+2} \ldots \xi_r$, so gilt er für jedes andere Intervall von Zellenbreite; denn seine Gültigkait ist unabhängig von den speziell gewählten Konstanten $a_{\varkappa+1}, a_{\varkappa+2}, \ldots a_r$ und $\delta_{\varkappa+1}, \delta_{\varkappa+2} \ldots \delta_r$. Also gilt er für beliebige Werte der Variablen $\xi_{\varkappa+1}, \xi_{\varkappa+2} \ldots \xi_r$ innerhalb des Raumes Ω. Wir bekommen also den folgenden wichtigen Satz, der das Gleichverteilungsgesetz der Energie (law of equipartition of energy) ausspricht:

Läßt sich die Energie eines mechanischen Systems in der Form III darstellen, so hat der Mittelwert einer jeden Teilenergie von III*a* im Bereiche Ω des Zustandsraumes für das thermodynamische Gleichgewicht denselben Wert.

Wenn speziell der ganze Energieausdruck sich auf H_1 reduziert, also die Form II*a*) hat — nunmehr natürlich mit konstanten Koeffizienten c_λ —, so ist der Mittelwert jeder Teilenergie $\frac{1}{2} c_\lambda \xi_\lambda^2$ der r^{te} Teil von $\varepsilon = \frac{E}{N}$ des Mittelwertes der Gesamtenergie:

$$\frac{1}{2} \overline{c_\lambda \xi_\lambda^2} = \frac{\varepsilon}{r}. \tag{26}$$

Man kann nun zeigen, daß unter der Voraussetzung, die betrachtete Systemgesamtheit sei ergozonal, dieser Energieverteilungssatz auch für die zeitlichen Mittelwerte gilt. In der Tat bedeutet ja die genannte Voraussetzung nach § 15, daß der die Systemgesamtheit darstellende Punkt in jede Zelle des Γ-Raumes gelangt. Da aber eine Zelle des Γ-Raumes einer Komplexion der Elemente im μ-Raume entspricht, so ist die Hypothese gleichbedeutend mit der Aussage, daß im Laufe der Zeit alle möglichen Komplexionen wirklich realisiert werden. Hieraus aber folgt wieder, daß ein Element bei seiner Wanderung im μ-Raume in jede Zelle gelangt und daselbst an der Realisierung jeder Verteilung in allen möglichen Weisen teilnimmt. Unter allen Verteilungen ist aber die wahrscheinlichste, d. i. die des thermodynamischen Gleichgewichts, erdrückend häufig, so daß sie, wie wir in § 15 gesehen haben, einmal erreicht, als stationär gelten kann. Demnach liefert der zeitliche Mittelwert einer Größe, gebildet für ein Element, das man auf seiner Wanderung verfolgt, mit genügender Annäherung dasselbe Resultat wie der statistische Mittelwert derselben Größe, gebildet mit allen Elementen für den Zustand des thermodynamischen Gleichgewichts.

Man erkennt also: Der Gleichverteilungssatz ist nur bewiesen für eine Energie der Form II*a*). Dafür aber ist er nicht etwa beschränkt auf die kinetische Energie. Denn zu einem Ausdruck der Form II*a* können sehr wohl auch Teile der potentiellen Energie gehören, wie dies bei schwingenden Sytemen der Fall ist. So gilt zum Beispiel der Gleichverteilungssatz für die ganze Energie Planck'scher Oszillatoren; er gilt ebenso für den Energieanteil der Gasmoleküle, der nicht der potentiellen Energie äußerer Kräfte angehört, falls jener die Form II*a* hat, also außer der kinetischen Energie der fort-

schreitenden Bewegung noch aus irgend welchen Energien von Atomschwingungen der genannten Form besteht.

18.

Eine besondere Art von Gleichverteilung der Energie tritt in einem Grenzfalle auf: wenn nämlich die Zahl r der unabhängigen Zustandsvariablen groß wird. Es sei dabei vorausgesetzt, daß der ganze Energieausdruck die Form IIa habe. Für diesen Fall ist in § 6 gezeigt, daß die Verteilung der Systeme im Zustandsraume sich der gleichförmigen nähert (Gleichung 9 A), und daß dasselbe mit der Verteilung der Energie auf die Zellen des Zustandsraumes geschieht (Gleichung 7 A). Bilden wir jetzt den Ausdruck für die elementare Entropie nach β, so ist nach 9 A.

$$\sigma = -k \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \frac{1}{n} \lg \frac{1}{n} + \sigma_0 = k \lg n + \sigma_0 .$$

Nun ist

$$n = \frac{\Omega}{\omega},$$

wenn mit Ω wie früher das Volum des Zustandsraumes, in welchem die Verteilung vor sich geht, mit ω dasjenige einer Zelle bezeichnet wird. Es ist aber nach den Ausführungen in § 4

$$\Omega = \frac{(2\pi)^{\frac{r}{2}}}{\Gamma\left(1+\frac{r}{2}\right)} (c_1 c_2 \ldots c_r)^{-\frac{1}{2}} C_n^{\frac{r}{2}}, \tag{27}$$

folglich nach 7 A

$$\sigma = k \frac{r}{2} \lg \varepsilon + C,$$

wo die Konstante

$$C = \sigma_0 + k \lg \left[\frac{(2\pi)^{\frac{r}{2}}}{\Gamma\left(1+\frac{r}{2}\right)} (c_1 c_2 \ldots c_r)^{-\frac{1}{2}} \omega^{-1} \right].$$

Die Temperatur bestimmt sich daher nach γ durch die Gleichung

$$\frac{1}{T} = k \frac{r}{2} \frac{1}{\varepsilon}$$

oder

$$\varepsilon = k \frac{r}{2} T. \tag{28}$$

Für solche Systeme wird also sehr nahe die Energie der Temperatur proportional.

Mit welcher Annäherung der Satz gilt, erkennt man daraus, daß, wie aus der Ableitung in § 6 ersichtlich ist, seine Gültigkeit an der Voraussetzung hängt:

$$\alpha_\lambda \doteq 1$$

für beliebiges ganzzahliges $\lambda < n$. Diese Beziehung gilt nun natürlich um so schlechter, je größer λ ist; es genügt aber beispielsweise selbst für $\lambda = 10^{10}$ der Wert $r = 5000$, um den Fehler auf zirka 1 Prozent herabzudrücken.

Der Satz 28 stimmt überein mit der berühmten, aus dem Aequipartitionssatz der klassischen statistischen Mechanik gezogenen Folgerung; aber die Prämissen und daher auch der Geltungsbereich des Satzes hier und dort sind wesentlich verschieden. In der klassischen statistischen Mechanik wird

die Betrachtung einer Zeitgesamtheit zugrunde gelegt, und es wird die Existenz ergodischer Systeme — oder quasiergodischer, welche wahrscheinlich ebensowenig möglich sind — vorausgesetzt; dafür soll der Satz strenge und unter allen Umständen gelten. Für uns aber ist der Satz nur mit Annäherung richtig und auch dies nur dann, wenn r, also auch die Zahl der Freiheitsgrade, groß ist; mit diesen Einschränkungen gilt er aber auch sicher, und seine Fundierung läßt logisch keine Lücke.

Dieser Satz ist es nun auch, der als in einem Fall vermeintlich mit der Erfahrung in Widerspruch stehend, den Glauben an die allgemeine Gültigkeit der statistischen Mechanik erschüttert hat. Es handelt sich, wie bekannt, um seine Anwendung auf die Strahlungstheorie durch Rayleigh[1] und Jeans.[2] In einem würfelförmigen Hohlraum, dessen Wände vollkommen spiegeln, sei eine regelmäßige, aus stehenden Wellen der drei Kantenrichtungen bestehende, elektromagnetische Strahlung eingeschlossen. Da dieselbe aus unendlich vielen einfach periodischen Partialschwingungen besteht, und da zur vollständigen Bestimmung einer Partialschwingung, wie die Rechnung zeigt, vier Integrationskonstanten willkürlich wählbar sind, so besitzt das System vierfach unendlich viele unabhängige Zustandsvariable. Indem man auf eine Gesamtheit solcher Systeme den oben genannten, formal mit 26 übereinstimmenden Äquipartitionssatz der klassischen statistischen Mechanik anwendet, gelangt man für das stationäre Gleichgewicht zu der Rayleigh-Jeans'schen Strahlungsformel, welche zwar für hohe Temperaturen, aber nicht allgemein mit der Erfahrung in Übereinstimmung ist.

Nun scheint mir aber diese Anwendung der statistischen Mechanik unerlaubt zu sein, und zwar vor allem aus folgendem Grunde. Es ist klar, daß das stehende Wellensystem im Innern des Würfels vollständig stationär mit unveränderten Amplituden in alle Ewigkeit weiter bestünde, wenn nicht durch irgendeine Störung von Zeit zu Zeit die Amplituden der Partialschwingungen geändert würden. Wie aus den Ausführungen des § 12 hervorgeht, muß diese Störung, damit die Methode der statistischen Mechanik anwendbar sei, in gänzlich unregelmäßiger, unkontrollierbarer Weise erfolgen, so daß das System quasi-regulär wird. Die Notwendigkeit des Vorhandenseins einer solchen Störung hebt auch Planck[3] hervor und er nimmt daher an, daß sich in dem Hohlraume eine Spur von Materie, z. B. einige Gasmoleküle befinden, welche auf die Strahlung durch Emission und Absorption einwirken. Allein bei näherer Überlegung stößt man da auf eine große Schwierigkeit. Solange nämlich keine Materie im Innern des Hohlraumes vorhanden ist, sind nur ganz bestimmte, durch die Kantenlänge des Würfels bestimmte Schwingungszahlen der elektromagnetischen Welle möglich, die freien Schwingungen des Würfels; sie entsprechen der akustischen Erscheinung eines Klanges, nämlich einem Grundton mit seinen harmonischen Obertönen. Bringt man aber irgendwelche Resonatoren in den Hohlraum, so bilden sich (erzwungene) Schwingungen aus, welche genau die Frequenzen der Resonatoren haben, bis sich das thermodynamische Gleichgewicht hergestellt hat; auf die freien Schwingungen des Würfels haben die Moleküle aber keinen Einfluß. Die freien Schwingungen haben mit der Hohlraumstrahlung, um deren thermodynamische Eigenschaften es sich handelt, gar nichts zu tun. Das erkennt man ja schon daraus, daß das Spektrum dieser freien Schwingungen aus ganz scharfen, durch die Dimensionen des Hohlraumes bestimmten Linien besteht, während dasjenige der Hohlraumstrahlung kontinuierlich ist. Vielmehr entsteht das Spektrum der Hohlraumstrahlung erst durch den Einfluß der eingebrachten Körpermoleküle. Durch das Hereinbringen dieser wird also der im Innern des Würfels herrschende Strahlungszustand wesentlich geändert. Mit welchem Recht man aber unter diesen Umständen auf die freien Schwingungen des Würfels den Äquipartitionssatz anwenden kann und was eine derartige Überlegung mit den thermodynamischen Eigenschaften der Hohlraumstrahlung zu tun hat, ist nicht einzusehen.

---

[1] Nature, 72, p. 54.

[2] Phil. mag. (6) 10, p. 91.

[3] Theorie der Wärmestrahlung, 1. Aufl., § 165.

Abgesehen von diesem Einwande prinzipieller Natur besteht noch ein wichtiges Bedenken gegen die Rayleigh-Jeans'sche Überlegung: Die Zahl der unabhängigen Veränderlichen, welche den Zustand eines Elements bedingen sollen, wäre unendlich groß; also wäre auch die Dimensionszahl des Phasenraumes, in welchem die Verteilung vorzunehmen ist, unendlich groß. Welche Bedeutung aber dem »Volumen Ω« eines Raumes von unendlich hoher Dimension zukommen soll, müßte erst definiert werden.

Das Rayleigh-Jeans'sche Strahlungsgesetz, welches man auch so aussprechen kann, daß die spezifische Wärme der Strahlung von der Temperatur unabhängig ist, ist ein Annäherungsgesetz, welches für sehr hohe Temperaturen richtig ist; genau ebenso, wie das entsprechende Gesetz für die Wärmeenergie idealer Gase. Es ist nicht mehr als ein Zufall — und ein für die Entwicklung der statistischen Mechanik unglückseliger Zufall —, daß die Form dieses Gesetzes mit dem Satze 28) übereinstimmt. Die wahre Quelle des Satzes ist nicht Gleichung 28) — man verstünde sonst auch nicht, warum das Gesetz gerade für hohe Temperaturen gelten sollte — sondern eine andere. Wir werden auf den Punkt an geeigneter Stelle im nächsten Teile unserer Untersuchung zu sprechen kommen. In diesem sollen die gewonnenen Erkenntnisse auf die Behandlung zweier spezieller Probleme angewendet werden: die Energieverteilung im Spektrum des schwarzen Körpers und die Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wärme fester Körper.

III. Teil.

19.

Vom methodischen Standpunkte ist das Problem der Energieverteilung im Spektrum des schwarzen Körpers von besonderer Bedeutung, weil ja bei dieser Gelegenheit Planck zur Aufstellung seiner Quantenhypothese geführt wurde. Es handelt sich hier darum zu zeigen, daß die Einführung dieser Hypothese nicht nötig ist, daß man es vielmehr mit einer unmittelbaren Anwendung der im vorigen Teile dargelegten Prinzipien zu tun hat. Daß aber gerade von der Planck'schen Untersuchung ein wesentlicher Fortschritt der statistischen Mechanik ausgeht, ist im § 14 auseinandergesetzt worden. Die Ableitung soll in engem Anschlusse an Planck geführt werden; dabei wird aber klar hervortreten, daß der Theorie gewisse hypothetische Voraussetzungen zugrunde liegen, und daß die Resultate nur mit einer, wenn auch großen Annäherung gelten.

In einem allseitig geschlossenen von spiegelnden Wänden begrenzten Hohlraum seien irgendwelche strahlende Körper eingeschlossen. Im stationären Zustande ist dann der Hohlraum in dem von Materie freien Teil mit einer Strahlung erfüllt, deren Eigenschaften untersucht werden sollen, soweit dies die statistische Methode gestattet. Wie immer diese Strahlung beschaffen sein mag, sie ist vollkommen bestimmt durch Angabe des elektrischen Vektors $\mathfrak{E}$ und des magnetischen Vektors $\mathfrak{H}$ an jeder Stelle des Feldes als Funktionen der Zeit. Was zunächst die räumliche Verteilung der beiden Vektoren betrifft, so ist dieselbe natürlich vollkommen gegeben, wenn alle Grenzbedingungen bekannt sind. Da aber das Problem der strengen Lösung der Maxwell'schen Gleichungen schon bei den einfachsten Grenzbedingungen große Schwierigkeiten macht, bei etwas komplizierteren aber vollkommen undurchführbar ist, so kann die räumliche Verteilung als »ungeordnet« angesehen werden in dem Sinne, daß sich im allgemeinen keine Gesetzmäßigkeit angeben läßt, nach welcher die beiden Vektoren $\mathfrak{E}$, $\mathfrak{H}$ im Innern des Hohlraums angeordnet sind. Nur eine Eigenschaft wird man der räumlichen Verteilung der beiden Vektoren zuerkennen müssen, nämlich die, im allgemeinen **stetig** zu sein. An irgendeiner bestimmten Stelle des Hohlraumes ändern sich ferner die Vektoren in gewisser Weise mit der Zeit. Denken wir uns ein rechtwinkliges räumliches Koordinatensystem gelegt und die Vektoren $\mathfrak{E}$, $\mathfrak{H}$ nach demselben in Komponenten $\mathfrak{E}_x$, $\mathfrak{E}_y$, $\mathfrak{E}_z$, beziehungsweise $\mathfrak{H}_x$, $\mathfrak{H}_y$,

$\mathfrak{H}_z$ zerlegt. Jede dieser Größen, zum Beispiel $\mathfrak{E}_z$, läßt sich, welche Funktion der Zeit immer sie sein mag, durch ein kontinuierliches Spektrum in der Form darstellen

$$\mathfrak{E}_z(t) = \int_0^\infty a(\nu) \cos(2\pi\nu t - \vartheta(\nu))\, d\nu, \tag{29}$$

wobei die Amplitude $a(\nu)$ und die Phase $\vartheta(\nu)$ durch die Gleichungen

$$\begin{aligned} a(\nu)\cos\vartheta(\nu) &= 2\int_{-\infty}^{\infty} \mathfrak{E}_z(x) \cos 2\pi\nu x\, dx \\ a(\nu)\sin\vartheta(\nu) &= 2\int_{-\infty}^{\infty} \mathfrak{E}_z(x) \sin 2\pi\nu x\, dx \end{aligned} \tag{29a}$$

definiert sind. Da nun wieder die Funktion $\mathfrak{E}_z(t)$ als vollkommen unberechenbar anzusehen ist, so sind nach 29 *a)* Amplitude und Phase in ganz »ungeordneter« Weise von der Schwingungszahl ν abhängig; nur sind sie natürlich im allgemeinen stetige Funktionen von ν, weil $\mathfrak{E}_z$ im allgemeinen stetige Funktion von t sein wird.

Diese beiden Sorten von »Unordnung« scheinen die Anwendung der Statistik zu ermöglichen. Hierbei tritt die Vereinfachung ein, daß die Betrachtung einer einzigen der sechs Komponenten des elektromagnetischen Feldes, zum Beispiel die von $\mathfrak{E}_z$, genügt, weil die Hohlraumstrahlung keinerlei bevorzugte Richtung aufweist, und daher für die beobachtbaren Mittelwerte alle Komponenten dieselbe Rolle spielen. Da es sich ferner nur um zeitliche Mittelwerte der Feldgrößen oder von Funktionen derselben handeln kann, welche allein beobachtbar sind, und für diese alle Stellen des Strahlungsfeldes gleich beschaffen sind, so würde es genügen, den zeitlichen Ablauf der elektromagnetischen Erscheinungen an einem Punkte des Feldes zu studieren. Zu diesem Zwecke denken wir uns an der betrachteten Stelle einen Resonator angebracht, der eine bestimmte Eigenschwingungszahl ν_0 besitzt, und dessen Schwingungen in der Z-Richtung stattfinden. Mit diesem Resonator können wir den Teil des Spektrums analysieren, der in unmittelbarer Umgebung der Linie mit der Schwingungszahl ν_0 liegt, und zwar bekanntlich um so genauer, je weniger gedämpft der Resonator schwingt. Wie beschaffen dieser im übrigen angenommen wird, muß ganz gleichgiltig sein, weil ja die seine Eigenschaften charakterisierenden Größen aus dem Schlußresultat doch herausfallen müssen; denn die Natur der Hohlraumstrahlung ist in thermodynamischer Hinsicht von den speziellen Eigenschaften irgendwelcher Körper, mit denen sie im Strahlungsgleichgewicht steht, unabhängig. Wir wählen mit Planck einen Hertz'schen Dipol, dessen Schwingungsgleichung für kleine Strahlungsdämpfung lautet:

$$Kf + L\ddot{f} - \frac{2}{3c^3}\dddot{f} = \mathfrak{E}_z.\ ^{1} \tag{30}$$

In dieser bedeuten f das elektrische Moment des Dipols, c die Konstante der Maxwell'schen Gleichungen, K und L aber zwei Konstanten, welche mit der Eigenschwingungszahl ν_0 und dem logarithmischen Dekrement σ des Resonators durch die Beziehungen zusammenhängen

$$\sqrt{\frac{K}{L}} = 2\pi\nu_0, \quad \frac{4\pi^2\nu_0}{3c^3 L} = \sigma.$$

Die Energie des Resonators hat bei der benutzten Annäherung den Wert

$$\mathrm{H} = \frac{1}{2}(Kf^2 + \mathfrak{L}\dot{f}^2). \tag{31}$$

[1] Wied. Ann. 60, p. 577, 1897.

Diese ändert sich im allgemeinen durch Ausstrahlung während der Zeit dt um den Betrag

$$\frac{2}{3c^3}\ddot{f}^2 dt$$

und durch Absorption der umgebenden Strahlung um

$$\mathfrak{E}_z \dot{f} dt.$$

Das allgemeine Integral der Differentialgleichung 30, in welche für die rechte Seite der Ausdruck 29 einzusetzen ist, setzt sich zusammen aus der gedämpften Eigenschwingung des Resonators und der durch das Feld erzwungenen Schwingung:

$$f(t) = Ce^{-\sigma\nu_0 t}\cos(2\pi\nu_0 t - \varphi) + \int_0^\infty A(\nu)\cos(2\pi\nu t - \vartheta(\nu) - \gamma(\nu))\,d\nu.. \qquad 32)$$

Die Amplituden $A(\nu)$ der erzwungenen Schwingung sowie die Phasendifferenzen $\gamma(\nu)$ gegen die Schwingungen des Feldes sind gegeben durch die Gleichungen

$$A(\nu) = \frac{3c^3}{16\pi^3\nu^3}\sin\gamma(\nu).a(\nu) \quad , \quad \operatorname{tg}\gamma(\nu) = \frac{\nu^3\sigma}{\pi\nu_0(\nu_0^2 - \nu^2)}, \qquad 32a)$$

wobei $\gamma(\nu)$ zwischen o und π zu liegen hat, damit $A(\nu)$ positiv sei; C und φ sind Integrationskonstanten. In bekannter Weise findet man, daß $A(\nu)$ nur für Werte von ν, welche in der Nähe von ν_0 liegen, merkliche Werte hat, daß ferner der Bereich von Schwingungszahlen, in welchem dies der Fall ist, im Verhältnis zu ν_0 von der Größenordnung σ ist und daß daher die Resonanzkurve um so steiler ansteigt, je schwächer gedämpft der Resonator ist. Damit aber aus dem Schwingungszustand des Resonators auf denjenigen des Strahlungsfeldes geschlossen werden könne, muß die Eigenschwingung des Resonators merklich abgeklungen sein.

Nunmehr handelt es sich darum, auf den Zustand des Resonators statistische Überlegungen anzuwenden und zuzusehen, ob sich Entropie und Temperatur des Resonators definieren lassen. Dies ist nun nach den Auseinandersetzungen des § 10 nicht ohne weiteres der Fall. Denn das Objekt der Statistik wäre hier eine Zeitgesamtheit, nämlich die Gesamtheit der aufeinanderfolgenden Zustände eines und desselben Systems, des Resonators, und wir haben gesehen, daß sich an eine solche ein klares Verteilungsproblem nicht knüpfen läßt. Wir müssen daher die Zeitgesamtheit der verschiedenen Zustände eines Resonators ersetzen durch eine Raumgesamtheit von N gleichbeschaffenen Resonatoren der Schwingungszahl ν_0, welche sich an verschiedenen Stellen des Feldes befinden. Dies wird ermöglicht durch die Voraussetzung, daß die Gesamtheit der N Resonatoren ergozonal sei. Denn dann wird irgendein statistischer Mittelwert, welchen man aus den gleichzeltig vorhandenen Zustandsgrößen der N Resonatoren ableiten kann, identisch sein mit dem entsprechenden, welcher mit Hilfe der während einer hinreichend langen Zeit aufeinanderfolgenden Zustandsgrößen eines Resonators gebildet wird. Durch diese Abbildung der Zeitgesamtheit auf eine Raumgesamtheit bekommt der Begriff »Entropie eines Resonators« einen bestimmten Sinn.

Versucht man aber jetzt, die im vorigen Abschnitt gegebene Methode der statistischen Mechanik anzuwenden, um die Entropie des Resonatorensystems zu berechnen, so stößt man auf eine Schwierigkeit sehr ernsthafter Natur. Man kann dieselbe kurz so aussprechen, daß der Zustand eines Resonators nicht genug »ungeordnet« ist. Wie wir gesehen haben, zeigt das Feld zunächst Unordnung in räumlicher Beziehung. Diese bewirkt, daß die gleichzeitigen Zustände an den verschiedenen Stellen des Feldes, an welchen sich Resonatoren befinden, durch keinerlei gesetzmäßige Beziehung miteinander verknüpft sind; d. h. wir können sie als voneinander unabhängig betrachten. Dieser Umstand ist von fundamentaler Wichtigkeit: wäre er nicht erfüllt, so wäre dem Unabhängigkeitspostulat nicht Genüge geleistet und damit würde, wie wir gesehen haben, eine der wesentlichsten Voraussetzungen für die Anwendbarkeit statistischer Überlegungen fehlen. (Allerdings ist dabei vorausgesetzt, daß benachbarte

Stellen des Feldes samt den dort befindlichen Resonatoren im allgemeinen auch unabhängig bleiben und sich nicht gegenseitig beeinflussen, also nicht dauernd im Energieaustausch stehen; auf diesen wichtigen Punkt kommen wir noch zu sprechen.) Zweitens herrscht Unordnung hinsichtlich der Abhängigkeit der Amplituden und Phasen der Partialschwingungen des Spektrums von den Schwingungszahlen. Dieser Umstand hat für das vorliegende Problem keine unmittelbare Bedeutung, da es sich nicht um eine Verteilung im Bereich der Schwingungszahlen handelt, vielmehr alle Resonatoren dieselbe Schwingungszahl ν_0 haben. Damit aber sind alle Arten von Unordnung, ist alles »Zufällige« in dem Zustande der Resonatoren erschöpft. Vor allem ist in zeitlicher Beziehung der Zustand eines Resonators vollkommen geordnet. Ist die Eigenschwingung einmal abgeklungen, so führt der Resonator für alle Zeiten die ihm vom Felde aufgezwungenen Schwingungen mit konstanten Amplituden und Phasen aus; der zeitliche Ablauf der Erscheinung ist für alle Zeiten gesetzmäßig bestimmt, wenn einmal die Werte der Amplituden $\alpha(\nu)$ und der Phasen $\vartheta(\nu)$ als Funktionen der Schwingungszahl angegeben werden. In der Tat ist ja die ganze Mannigfaltigkeit und alles »Zufällige« der zeitlichen Änderung des Feldes wiedergegeben durch die Ausbreitung in ein Spektrum in Verbindung mit dem Umstande, daß die Verteilung der $\alpha(\nu)$ und $\vartheta(\nu)$ durch kein Gesetz geregelt wird. Nun ist aber »Unordnung« in zeitlicher Beziehung unbedingt nötig, wenn von Entropie gesprochen werden soll.

In den §§ 11, 12 ist die Form, in der diese Forderung in der statistischen Mechanik auftritt, ausführlich erörtert; wir haben dort gesehen, daß die mechanischen Systeme, deren Zustände der Statistik unterworfen werden sollen, quasi-regulär sein müssen, d. h. daß eine »zufällige Störung« die durch die Systemgleichungen vorgeschriebene gesetzmäßige Zustandsänderung von Zeit zu Zeit unterbrechen und eine Unstetigkeit in dieselbe hineinbringen muß. Diese zufällige Störung fehlt noch den Resonatoren: unter diesen Umständen läßt sich auch die »Entropie eines Resonators« nicht definieren, sie verliert vielmehr jeden Sinn; es geschieht eben nichts — vom Standpunkt des makroskopischen Beobachters gesprochen. Dieser Punkt scheint mir in der Planck'schen Theorie nicht klargestellt zu sein. Allerdings bringt das Hinzutreten der Quantenhypothese, d. h. die Annahme des quantenhaften Auspuffens von Energie seitens der Resonatoren eine »zufällige Störung« herein. Aus der Planck'schen Darstellung ist aber ersichtlich, daß schon vor Einführung der Quantenhypothese einem Resonator Entropie zugeschrieben wird. Für diesen Zweck ist also die Quantenhypothese nicht geschaffen; für ihn ist sie aber auch nicht nötig: es genügt beispielsweise die Annahme von Zusammenstößen der Resonatoren.

In der Tat braucht man sich die Resonatoren nur statt ruhend in Bewegung zu denken. Dieser Umstand beeinflußt das elektromagnetische Feld und den Zustand der Resonatoren in dreierlei Weise. Erstens ändert die Bewegung der elektrischen Ladungen eines Resonators unmittelbar das elektromagnetische Feld und dadurch mittelbar den Zustand der Resonatoren; aber diese Veränderung ist von absolut vernachlässigbarer Größe. Denn da sie von dem Verhältnis der Geschwindigkeit der Resonatoren zu jener des Lichtes abhängt, so würde die Größenordnung dieser Änderung immer erst etwa 0·0001 % des Feldes betragen, selbst wenn man sich die Resonatoren mit der durchschnittlichen Geschwindigkeit von Wasserstoffmolekülen bei normaler Temperatur bewegt denkt. Dazu kommt, daß die unmittelbare Nachbarschaft der zwei entgegengesetzten Ladungen eines Resonators die Wirkung der Bewegung eines derselben sehr abschwächt. Zweitens wird der Zustand eines Resonators indirekt durch die Bewegung beeinflußt, weil ihn diese an eine andere Stelle des Feldes führt, wo andere Werte der elektromagnetischen Feldstärken herrschen, mit welchen er sich nunmehr ins Gleichgewicht setzen muß. Wenn aber die freie Bewegung der Resonatoren nur auf Strecken von der Größenordnung der mittleren Weglänge von Gasmolekülen bei normalem Druck erfolgen soll, so wird, da das elektromagnetische Feld stetig im Raume verteilt ist, diese Änderung ebenfalls bedeutungslos sein; dies um so mehr, als ja der Begriff »Stelle des Feldes, an der sich ein Resonator befindet,« sich notwendig auf einen ganzen räumlichen Bereich bezieht und man sich diesen von vornherein von der Größenordnung einer molekularen Weglänge denken kann. Endlich wird der Zustand der Resonatoren

direkt durch die Zusammenstöße beeinflußt, welche am Ende der freien Weglängen eintreten. Dieser Umstand allein ist von erheblicher Bedeutung, weil durch ihn Amplitude und Phase der Resonatorschwingung plötzlich vollständig geändert werden.

Zum besseren Überblick der in Betracht kommenden Verhältnisse wollen wir die folgende Überlegung anstellen: Die Integrationskonstanten C, φ der Gleichung 32 lassen sich durch die Anfangswerte $f(0)$ und $\dot{f}(0)$ ausdrücken. Es ist

$$C \cos \varphi = f(0) - \int_0^\infty A(\nu) \cos (\vartheta(\nu) + \gamma(\nu))\, d\nu$$

$$2\pi \nu_0\, C \sin \varphi = \dot{f}(0) - 2\pi \int_0^\infty \nu A(\nu) \sin (\vartheta(\nu) + \gamma(\nu))\, d\nu,$$

wenn man Glieder von der Größenordnung σ ebenso wie bei Aufstellung der Differentialgleichung 30, vernachlässigt. Demnach ist die Amplitude der gedämpften Eigenschwingung des Resonators um so größer, je mehr die Anfangswerte von denen der vom Felde erzwungenen Schwingung abweichen. Hieraus folgt, daß durch die Ortsveränderung der Resonatoren auf Strecken von der Größe der freien Weglänge die Eigenschwingung, wenn sie einmal abgeklungen war, nur unmerklich geweckt, daß sie aber durch die Zusammenstöße im allgemeinen sehr merklich angeregt werden wird. Nun stellt die erzwungene Schwingung den regulären Vorgang dar, das Einsetzen der Eigenschwingung aber entspricht der »zufälligen Störung«, welche den Ablauf des ersteren Vorganges unterbricht. Damit diese Auffassung sachlich gerechtfertigt sei, muß in der Zwischenzeit zwischen zwei Zusammenstößen trotz der Kleinheit von σ die störende Eigenschwingung bis zur Unmerklichkeit abgeklungen sein. Dieselbe sinkt in der Zeit $t = \frac{1}{\sigma \nu_0}$ auf den e^{ten} Teil des Wertes ab. Andrerseits ist die Zeit zwischen zwei Zusammenstößen das Verhältnis der freien Weglänge zur Geschwindigkeit der Resonatoren. Nehmen wir also beispielsweise an, daß sich die Resonatoren wie Stickstoffmoleküle in Luft bei 15° C und Atmosphärendruck bewegen, d. h. mit einer Durchnittsgeschwindigkeit von 467 *m*/sek. und einer Weglänge von 10^{-5} *cm*; die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Zusammenstößen wäre dann $2 \cdot 1.10^{-10}$ sek. Angenommen nun, es sei $\sigma = 0 \cdot 001$ — so daß Gleichung 30 und die anschließenden Rechnungen mit einer Genauigkeit von zirka $1^0/_{00}$ gelten — so müßte die Schwingungszahl der Resonatoren mindestens $4 \cdot 67.\ 10^{12}$/sek. sein (welche etwa einer Wellenlänge gleich jener der Reststrahlen an Sylvin entspricht), damit die Eigenschwingung in der Zeit zwischen zwei Zusammenstößen auf 1/e des ursprünglichen Wertes oder weniger abgeklungen sei. Natürlich steht aber, wie schon Planck bemerkt, nichts im Wege, durch Anbringung träger, ungeladener Masse die Geschwindigkeit der Resonatoren so herabzusetzen, daß die verlangte Genauigkeit noch für viel kleinere Werte von ν_0 gilt.

Der ganze Vorgang setzt sich also aus zwei Teilvorgängen zusammen: der nach dem Abklingen der Eigenschwingung allein vorhandenen erzwungenen Schwingung, welche den »regulären« Vorgang darstellt; und der als »zufällige Störung« auftretenden, durch den Zusammenstoß hervorgerufenen Eigenschwingung, deren Wirkung sich mit Lichtgeschwindigkeit im Felde fortpflanzt und welche durchschnittlich längst abgeklungen ist, wenn die nächste Störung einsetzt. Untersuchen wir nun die Energie des Resonators während des regulären Vorganges etwas näher. Setzt man in den Ausdruck 31 für f und $\dot{f}$ die aus 32 folgenden Werte mit $C = 0$, also nach abgeklungener Eigenschwingung ein, so erhalten wir

$$H = 2\pi^2 L \left[\left(\int_0^\infty \nu_0 A(\nu) \cos (2\pi\nu t - \vartheta(\nu) - \gamma(\nu))\, d\nu \right)^2 + \left(\int_0^\infty \nu A(\nu) \sin (2\pi\nu t - \vartheta(\nu) - \gamma(\nu))\, d\nu \right)^2 \right].$$

Nennen wir nun $\Delta\nu$ ein variables Schwingungszahlen-Intervall in der Umgebung von ν_0, derart, daß $\frac{\Delta\nu}{\nu_0}$ von der Größenordnung σ ist, $\Delta\nu_0$ einen festen Wert desselben, so kann man erstlich die hier auftretenden bestimmten Integrale mit den Grenzen $\nu_0 - \frac{\Delta\nu_0}{2}$ und $\nu_0 + \frac{\Delta\nu_0}{2}$ statt 0, resp. ∞ versehen, zweitens in dem zweiten Integral den Faktor ν mit ν_0 vertauschen, drittens für $A(\nu)$ und $\gamma(\nu)$ statt 32a) schreiben

$$A(\nu) = \frac{3c^3}{16\pi^3\nu_0^3} \frac{\frac{\sigma}{2\pi}}{\sqrt{\left(\frac{\Delta\nu}{\nu_0}\right)^2 + \left(\frac{\sigma}{2\pi}\right)^2}} a(\nu), \quad \operatorname{tg}\gamma(\nu) = \frac{\frac{\sigma}{2\pi}}{\frac{\Delta\nu}{\nu_0}}.$$

Alle diese Vernachlässigungen bringen nur Fehler von der Größenordnung σ mit sich. Ferner ist

$$\cos(2\pi\nu t - \vartheta(\nu) - \gamma(\nu)) = \cos 2\pi\nu_0 t \cos(2\pi\Delta\nu . t + \vartheta(\nu) + \gamma(\nu)) + \\ + \sin 2\pi\nu_0 t \sin(2\pi\Delta\nu . t + \vartheta(\nu) + \gamma(\nu))$$

mit der analogen Beziehung für den sin. Dies alles eingeführt liefert

$$\mathrm{H} = \frac{3c^3\sigma}{128\pi^4\nu_0^3}\left[\left(\int_{\nu_0 - \frac{\Delta\nu_0}{2}}^{\nu_0 + \frac{\Delta\nu_0}{2}} \frac{a(\nu)}{\sqrt{\left(\frac{\Delta\nu}{\nu_0}\right)^2 + \left(\frac{\sigma}{2\pi}\right)^2}} \cos(2\pi\Delta\nu . t + \vartheta(\nu) + \gamma(\nu))\, d\nu\right)^2 + \right. \\ \left. + \left(\int_{\nu_0 - \frac{\Delta\nu_0}{2}}^{\nu_0 + \frac{\Delta\nu_0}{2}} \frac{a(\nu)}{\sqrt{\left(\frac{\Delta\nu}{\nu_0}\right)^2 + \left(\frac{\sigma}{2\pi}\right)^2}} \sin(2\pi\Delta\nu . t) + \vartheta(\nu) + \gamma(\nu)\, d\nu\right)^2\right].$$

Man erkennt, daß mit wachsender Zeit dieser Ausdruck sich periodisch ändert, jedoch nicht mit der kurzen Periode $\frac{1}{\nu_0}$ der Resonatorschwingungen, sondern mit der relativ langen der Schwebungen des Resonators $\frac{\nu_0}{\Delta\nu} \cdot \frac{1}{\nu_0}$.

Diese Tatsache bedeutet eine neue Schwierigkeit für die Anwendung der Statistik. Wir haben im § 13 gesehen, daß das Unabhängigkeitspostulat die Konstanz der Energie eines jeden Systems der Gesamtheit während der regulären, durch die Systemgleichungen beschriebenen Bewegung erfordert; aus diesem Umstande allein folgt auch die Notwendigkeit der Zelleneinteilung durch Energieflächen. Diese Forderung ist hier verletzt. Der Resonator und der ihn umgebende Teil des Feldes nimmt aus der Nachbarschaft, von anderen Teilen des Feldes und anderen Resonatoren, Energie auf oder gibt solche an sie ab. Sein Zustand ist also nicht mehr unabhängig von den gleichzeitigen Zuständen der übrigen Resonatoren. Dieser Umstand liegt durchaus im Wesen der Sache und läßt sich durch keinerlei Konstruktion der Resonatoren umgehen. Die einzelnen Resonatoren sind eben durch das elektromagnetische Feld miteinander gekoppelt; eine vollständige Unabhängigkeit derselben voneinander wäre identisch mit ihrer absoluten Unempfindlichkeit gegen das elektromagnetische Feld; dann aber wären sie ungeeignet, als Reagentien auf den Zustand desselben zu dienen. Obwohl nun eine Verletzung des Unabhängigkeitspostulats vorliegt, ist dieselbe doch eine besonders leichte: die Änderung der Energie geschieht nämlich periodisch; sie besteht in einem bloßen Schwanken um einen Mittelwert. Wenn also in dem Zeitraum zwischen zwei Zusammenstößen viele solcher Perioden liegen, so kann man gleichsam, statt den einzelnen Schwankungen der Energie zu folgen, über sie hinwegintegrieren, und als Energie des Resonators in dem genannten Zeitraum den so erhaltenen Mittelwert ansehen. Damit freilich in der Zeit zwischen zwei Zusammenstößen viele Schwebungen liegen,

dazu genügt nicht, wie oben angenommen wurde, daß diese Zeit von der Größenordnung $\frac{1}{\sigma\nu_0}$ sei, sondern sie muß von der Ordnung eines ziemlich großen Vielfachen dieser Zeit sein; es ist aber, wie schon bemerkt, keine Schwierigkeit dies zu erreichen. Statt daß also der Phasenpunkt des Resonators, wie er sollte, in seiner Zelle bliebe, bis ein Zusammenstoß ihn hinausschleudert, verläßt er dieselbe häufig, um aber immer wieder zurückzukehren; diese periodische Aus- und Einwanderung muß also vernachlässigt werden.

Schlimmer steht es um diesen Punkt in der Planck'schen Theorie. In dieser wird ja, wie bekannt, angenommen, daß ein Resonator kontinuierlich absorbiert ohne zu emittieren, bis seine Energie ein ganzes Vielfaches des Energiequantums $h\nu_0$ geworden ist, worauf die ganze Energie plötzlich stoßweise ausgepufft wird. Hier steht also während des ersten Vorganges der Absorption überhaupt keine Emission gegenüber, und die Energie wächst beständig; dann nimmt sie plötzlich auf null ab. Während des ersten Teilvorganges ist die Energie des Resonators wesentlich abhängig von dem Zufluß von Energie aus der Umgebung. Man kann jetzt nicht mehr mit Sicherheit sagen, ob ein Resonator unter allen Umständen jeden vorgebbaren Zustand annehmen kann, ob also jede beliebig vorgebbare Verteilung der Phasenpunkte im Phasenraume realisierbar ist. Da jedoch in dieser Theorie der Begriff einer bestimmten Verteilung überhaupt ungeklärt ist, weil erst festgestellt werden müßte, nach welcher Regel die Zustände verschiedener Resonatoren als zu einer und derselben Verteilung zugehörig anzusehen sind, läßt sich eine genauere Untersuchung der Frage nicht durchführen.

21.

Die Hohlraumstrahlung, deren thermodynamische Eigenschaften durch die statistischen Gesetzmäßigkeiten der Gesamtheit der Resonatoren abgebildet werden soll, ist im thermodynamischen Gleichgewicht und hat daher bei konstanter Energie das Maximum der Entropie. Wir haben im § 16 die Ausdrücke für Entropie und Temperatur einer Gesamtheit physikalischer Systeme kennen gelernt und können sie hier unmittelbar anwenden. Die Energiefunktion $\mathrm{H}(\xi_1, \xi_2)$ hat nach Gleichung 31 die besondere Form II*a*. Nach den Ausführungen im § 15 sind zur Konstruktion des (zweidimensionalen) Phasenraumes die Variablen

$$\xi_1 = f, \quad \xi_2 = L\dot{f}$$

zu wählen. Daher sind die Konstanten der Funktion E in Gleichung II*a*

$$c_1 = K, \quad c_2 = \frac{1}{L}.$$

Damit ist alles gegeben, was die Spezialität des Problems ausmacht, und wir können ohne weiteres durch direktes Einsetzen in die allgemeinen Formeln des vorigen Teiles Entropie und Energie des Resonatorensystems als Funktionen der Temperatur erhalten.

Man hat aber damit zugleich eine Voraussetzung eingeführt, welche durchaus hypothetischer Natur ist: es ist die Annahme, daß die Gesamtenergie aller Resonatoren beständig dieselbe bleibt. Diese Hypothese ist natürlich unserer Theorie nicht eigentümlich, sondern tritt in der Planck'schen genau ebenso auf. Nur unter dieser Voraussetzung ist ja die Verteilung durch die Maxwell-Boltzmann'sche Gleichung 9 gegeben, und gilt der statistische Entropiesatz. Nun bleibt die Gesamtenergie des Resonatorensystems selbstverständlich erhalten, solange jeder Resonator ohne Störung regelmäßig schwingt; denn es ändert sich eben die Energie jedes einzelnen nicht, natürlich abgesehen von jenem periodischen Ein- und Ausatmen von Energie, von dem zum Schlusse des vorigen Paragraphen die Rede war. Anders aber ist die Sache, sobald es zu Zusammenstößen zwischen den Resonatoren kommt. Zwar läßt sich durch den mechanischen Bau des Resonators, der ja vollkommen will-

kürlich ist, immer erreichen, daß nicht merklich Energie der Schwingungsbewegung sich in Energie der Progressivbewegung umsetzen kann. Daher bleibt bei dem Zusammenstoß zunächst wieder die Summe der Schwingungsenergien der Resonatoren erhalten. Nun aber ändert sich dabei auch der elektromagnetische Zustand des Resonators, und es tritt, wie oben beschrieben, Abgabe von Energie an das elektromagnetische Feld oder Aufnahme von solcher ein, bis sich wieder Gleichgewicht eingestellt hat. Dieser Energieaustausch mit dem Felde geschieht aber in ganz unkontrollierbarer Weise, und es ist nur eine Hypothese, und zwar eine von fundamentaler Wichtigkeit, daß bei jenem Austausch die Energie der Resonatorengesamtheit stets dieselbe bleibt. In der Planck'schen Theorie findet ein solcher Energieaustausch beständig statt; hier tritt die Hypothese als Postulat auf, durch welches der noch unbestimmte Vorgang der quantenhaften Emission näher bestimmt wird. Man erkennt aus unserer Darstellung, daß diese Hypothese und nicht die Einführung der quantenhaften Energieemission wesentlich für die Ableitung des Planck'schen Strahlungsgesetzes ist.

Es ist bemerkenswert, daß vom Standpunkte der Methode der statistischen Mechanik die Voraussetzung, daß die Gesamtenergie aller Elemente der Gesamtheit konstant bleibe, stets als unbewiesene Hypothese aufzufassen ist. Denn die Energieänderung eines Elementes erfolgt ja nur während des Vorganges der »zufälligen Störung«, deren Verlauf als unbekannt zu gelten hat. So zum Beispiel ist die Tatsache der Konstanz der Gesamtenergie aller Gasmoleküle natürlich eine Folge der Gesetze des elastischen Stoßes; aber methodisch genommen treten in der Behandlung des Gasproblems nach den Prinzipien der statistischen Mechanik die Zusammenstöße als unbekannte Vorgänge auf, deren Gesetze in keine Relation der statistischen Mechanik eintreten (siehe auch die Anmerkung in § 12).

Nunmehr steht nichts im Wege, die Energie des Resonatorensystems als Funktion der Temperatur aufzustellen. Für das zweidimensionale Problem haben wir schon in § 5 die statistische Konstante μ als Funktion der elementaren Energie ε berechnet; führen wir also aus Gleichung 24 statt μ die Temperatur T ein, so erhalten wir sogleich die gesuchte Relation. Wir bekommen den Wert dieser Größe in einer der drei Formen 12*a*), 12*b*) oder 12*c*), je nachdem, welcher der Ausdrücke 8*a*), 8*b*) oder 8*c*) für α_λ als Funktion des Index λ angenommen wird. Indem wir noch wie in § 16

$$\frac{C_n}{n} = \frac{\omega}{2\pi}\sqrt{c_1 c_2}$$

setzen und für c_1, c_2 die weiter oben festgesetzten Werte einsetzen, erhalten wir für μ als Funktion der mittleren Energie ε des Resonatorensystems einen der drei Werte:
entweder

$$\mu = \frac{1}{\omega\nu_0}\lg\left(1+\frac{\omega\nu_0}{\varepsilon}\right)$$

oder

$$\mu = -\frac{1}{\omega\nu_0}\lg\left(1-\frac{\omega\nu_0}{\varepsilon}\right)$$

oder

$$\mu = \frac{1}{\omega\nu_0}\lg\frac{1+\frac{1}{2}\frac{\omega\nu_0}{\varepsilon}}{1-\frac{1}{2}\frac{\omega\nu_0}{\varepsilon}}.$$

Nach Gleichung 24 bekommen wir also für die mittlere Energie des Resonatorensystems als Funktion der Temperatur einen der drei Werte:
entweder

$$\varepsilon = \varepsilon_0 - \frac{\omega\nu_0}{2} \qquad 32a)$$

oder

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \frac{\omega \nu_0}{2} \qquad 32\,b)$$

oder

$$\varepsilon = \varepsilon_0 , \qquad 32\,c)$$

wo

$$\varepsilon_0 = \frac{\omega \nu_0}{2} \frac{e^{\frac{\omega \nu_0}{k T}} + 1}{e^{\frac{\omega \nu_0}{k T}} - 1} .$$

Wir hätten die Ausdrücke auch direkt erhalten können, indem wir in die Definitionsgleichung 11 für μ den Wert 24 eingesetzt hätten. Dabei ist nach § 14 die Größe ω identisch mit der Planck'schen Konstanten h.

Die drei Werte unterscheiden sich dadurch, daß für $T = 0$ die Energie im ersten Falle null, im zweiten $\omega \nu_0$, im dritten $\frac{\omega \nu_0}{2}$ ist. Da nach der zu Anfang des vorigen Paragraphen formulierten Voraussetzung der statistische Mittelwert der Energien der Gesamtheit von N Resonatoren, also die Größe ε, identisch ist mit dem zeitlichen Mittelwert $\bar{\varepsilon}$ der Energie eines Resonators, so besitzen wir nunmehr auch diesen als Funktion der Temperatur.

Es ist jetzt noch ein Schritt nötig: nämlich aus dem zeitlichen Mittelwert der Energie eines Resonators auf den zeitlichen Mittelwert der Energiedichte des elektromagnetischen Feldes zu schließen, welches mit dem Resonator im thermodynamischen Gleichgewicht steht. Nun ist der zeitliche Mittelwert der Energie eines Resonators nach 31 und 32

$$\bar{H} = \frac{1}{4} \left(K \int_0^\infty A^2 (\nu)\, d\nu + 4 \pi^2 L \int_0^\infty \nu^2 A^2 (\nu) d\nu \right).$$ [1]

Wie im vorigen Paragraphen können wir mit einem Fehler von der Größenordnung σ schreiben:

$$\bar{H} = 2 \pi^2 L \nu_0^2 \int_0^\infty A^2 (\nu)\, d\nu =$$

$$= \frac{9 c^6 L}{128 \pi^4 \nu_0^4} \int_0^\infty \sin^2 \gamma (\nu)\, a^2 (\nu)\, d\nu,$$

und wegen der Stetigkeit von $a(\nu)$ sowie unter der Voraussetzung, daß diese Funktion in dem Intervall $\nu_0 - \frac{\Delta \nu_0}{2}$ bis $\nu_0 + \frac{\Delta \nu_0}{2}$ monoton sei,

$$\bar{E} = \frac{9 c^6 L}{128 \pi^4 \nu_0^4} a^2 (\nu_0) \int_0^\infty \sin^2 \gamma (\nu)\, d\nu =$$

$$= \frac{9 c^6 L}{128 \pi^4 \nu_0^4} a^2 (\nu_0) \int_0^\infty \frac{d\nu}{1 + \frac{4 \pi^2}{\sigma^2 \nu_0^2} (\nu - \nu_0)^2} =$$

$$= \frac{9 c^6 L \sigma}{256 \pi^4 \nu_0^3} a^2 (\nu_0) = \frac{3 c^3}{64 \pi^2 \nu_0^2} a^2 (\nu_0).$$

Andrerseits ist die Energiedichte des elektromagnetischen Feldes

$$u = \frac{1}{8 \pi} (\mathfrak{E}^2 + \mathfrak{H}^2)$$

---

[1] Diese Definition des zeitlichen Mittelwertes ist ein Postulat, welches der ganzen Optik zugrunde liegt.

und der zeitliche Mittelwert desselben, weil alle Komponenten des Feldes sich im Mittel gleich verhalten, nach 29

$$\bar{u} = \frac{3}{4\pi} \bar{\mathfrak{E}}_z^2 = \frac{3}{8\pi} \int_0^\infty a^2(\nu)\, d\nu .$$

Ist also $U(\nu_0)\, \Delta\nu_0$ die Energiedichte des Spektralstreifens, welcher dem Schwingungszahlenintervall $\Delta\nu_0$ entspricht, so ist — immer mit derselben Vernachlässigung —

$$U(\nu_0)\, \Delta\nu_0 = \frac{3}{8\pi} \int_{\nu_0 - \frac{\Delta\nu_0}{2}}^{\nu_0 + \frac{\Delta\nu_0}{2}} a^2(\nu)\, d\nu = \frac{3}{8\pi} a^2(\nu_0)\, \Delta\nu_0 .$$

Daher erhalten wir

$$\varepsilon = \bar{H} = \frac{c^3}{8\pi\nu_0^2} U(\nu_0).$$ [1]

So bekommt man aus 32*a*), *b*), *c*) drei Werte für die Energiedichte der Hohlraumstrahlung (der Index von ν_0 kann nunmehr weggelassen werden):

$$U_1 = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \qquad 33\,a)$$

$$U_2 = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \left(\frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} + 1 \right) \qquad 33\,b)$$

$$U_3 = \frac{1}{2}(U_1 + U_2). \qquad 33\,c)$$

Eine Entscheidung zwischen diesen drei verschiedenen Ausdrücken ist, wie aus den Überlegungen des § 4 hervorgeht, aus rein statistischen Prinzipien nicht zu gewinnen. Auch sind sie, wie ebendort bemerkt wurde, nicht die einzig möglichen, sondern nur besonders ausgezeichnete. Die Erfahrung spricht, wie bekannt, für 33*a*). Diesem entspräche als Energie des Resonators der Ausdruck 32*a*). Planck hat in seiner ersten Theorie ebenfalls diesen gewählt, erst bei der späteren Fassung gelangt er von 32*c*) durch entsprechende Modelung seiner theoretischen Überlegungen zu 33*a*). Es ist zu bemerken, daß in verschiedenen Anwendungsgebieten der statistischen Mechanik auch die ensprechende Wahl für die beste Definition von α_λ, um die es sich ja hier handelt, eine verschiedene sein kann.

Setzt man in die Gleichungen 10), 11) für α_λ nach 8*a*) λ, ferner für $\mu C_n n^{-1}$ den unserem Problem entsprechenden Wert $\frac{h\nu}{2\pi k T}$ ein, so erkennt man, daß für hohe Temperaturen der im § 6 behandelte Fall eintritt, in welchem man die Summen durch Integrale approximieren kann. Man erhält so

---

[1] Dem Leser wird es nicht entgangen sein, daß man alle Überlegungen statt mit Hilfe des Fourier'schen Integrals auch wie Planck mit Zuhilfenahme der Fourier'schen Reihe hätte führen können. Das Integral scheint mir aber vor der Reihe Vorzüge zu besitzen, von denen ich folgende hervorheben möchte: Die Reihe enspricht einem diskontinuierlichen Spektrum, während nach unserer Erfahrung das Energiespektrum des schwarzen Körpers kontinuierlich ist; die Lage der Spektrallinien hinge im ersten Falle von einer willkürlich zu wählenden Grundperiode ab; das Spektrum wäre nach der Seite der langen Wellen begrenzt, und zwar willkürlich; endlich ist man bei Benutzung der Reihe hie und da doch zum Übergang ins Kontinuierliche, nämlich zu der mathematisch unbefriedigenden Annahme gezwungen, daß in jedem noch so kleinen Spektralbereich unendlich viele Spektrallinien liegen. Das Postulat des zeitlichen Mittelwertes aber ist auch für die Reihe nicht beweisbar, weil die Konvergenz der Reihe aus den Quadraten der Amplituden im allgemeinen nicht bewiesen werden kann.

$$\varepsilon = a \frac{h\nu}{2\pi} \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \lambda e^{-\frac{h\nu}{2\pi k T}\lambda} = a \frac{h\nu}{2\pi} \int_0^\infty x e^{-\frac{h\nu}{2\pi k T}x} dx = a \frac{2\pi k^2 T^2}{h\nu},$$

$$a \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-\frac{h\nu}{2\pi k T}\lambda} = 1 \text{ oder } a = \frac{h\nu}{2\pi k T};^{1}$$

also

$$\varepsilon = k T \quad \text{und} \quad U = \frac{8\pi k}{c^3} \nu^2 T.$$

Dies ist das Rayleigh'sche Gesetz, und man erkennt, daß seine Quelle dieselbe ist wie jene für das Gesetz der Wärmeenergie idealer Gase: es wird erhalten, wenn man die Größe der Zellen gegen null, deren Zahl gegen unendlich gehen läßt. Mit dem Äquipartitionssatz hat das Gesetz nichts zu tun.

21.

Wir wenden nun die allgemeine Theorie auf die Ermittlung der Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wärme fester Körper an. Das Ziel ist ebenso wie bei dem oben behandelten Problem ein methodisches. Es handelt sich nicht darum, die endgültige Form der Theorie der spezifischen Wärme zu finden, noch ein Gesetz aufzustellen, welches besser mit der Erfahrung stimmt, als alle vorhandenen, sondern zu zeigen, daß auch für dieses Problem die statistische Mechanik, wie sie hier dargestellt ist, ohne Zuhilfenahme der Quantenhypothese alles leisten kann, falls das Problem überhaupt ein solches der statistischen Mechanik ist. Es ist bekanntlich in zwei verschiedenen Arten versucht worden, die Wärmeerscheinungen fester Körper molekular zu verstehen: Entweder man faßt einen festen Körper als ein Aggregat von schwingungsfähigen Systemen (Atomen oder Moleküle) auf und sieht die Wärmeerscheinungen als das Resultat des Zusammenwirkens der im wesentlichen unabhängig voneinander erfolgenden Eigenschwingungen der einzelnen Systeme an; oder man denkt sich als Ursache der Wärmeerscheinungen die elastischen Schwingungen des Körpers als ganzen, so daß der Schwingungszustand des einzelnen Atoms oder Moleküls wesentlich abhängt von den gleichzeitigen Schwingungszuständen aller benachbarten Atome, respektive Moleküle. Die erste Auffassung ist die der Einstein'schen Theorie,[2] die zweite ist den Theorien von Debye[3] und Born-Kármán[4] eigentümlich. Wie man sofort erkennt, gibt nur die erstere Gelegenheit, zu unmittelbarer Anwendung der statistischen Mechanik. Wir wollen also an dieser Stelle von der Hypothese von Einstein ausgehen, ohne uns jedoch damit endgültig zu Gunsten derselben auszusprechen. Es soll aber gezeigt werden, wie aus den einfachen Voraussetzungen Einstein's bei richtiger Verwendung der statistischen Mechanik ein Gesetz für die Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wärme folgt, welches viel besser mit der Erfahrung stimmt als das Einstein'sche.

---

1 Diese Rechnung ist aus dem in § 6 angeführten Grunde nicht korrekt, weil die einzelnen Glieder der Euler'schen Summenformel unendlich groß werden. Richtiger ist der Gang der Überlegung folgender:

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \lambda e^{-\frac{h\nu}{2\pi k T}\lambda} = \sum_{\lambda=1}^{\lambda=n-1} \lambda e^{-\frac{h\nu}{2\pi k T}\lambda} \doteq \int_1^\infty x e^{-sx} dx = \frac{e^{-s}}{s}\left(1 + \frac{1}{s}\right) \doteq \frac{1-s^2}{s^2} \quad \left(s = \frac{h\nu}{2\pi k T}\right)$$

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-\frac{h\nu}{2\pi k T}\lambda} = 1 + \sum_{\lambda=1}^{\lambda=n-1} e^{-s\lambda} \doteq 1 + \int_1^\infty e^{-sx} dx = 1 + \frac{e^{-s}}{s} \doteq \frac{1}{s}$$

$$\varepsilon = a \frac{h\nu}{2\pi} \frac{1-s^2}{s^2} = s \frac{h\nu}{2\pi} \cdot \frac{1-s^2}{s^2} \doteq \frac{h\nu}{2\pi} \cdot \frac{1}{s} = k T.$$

2 Ann. d. Phys. 22, p. 180, 1907.

3 Ann. d. Phys. 39, p. 789, 1912.

4 Phys. Zeitschr. 13, p. 297, 1912.

Der feste Körper werde also dargestellt durch eine Gesamtheit von Oszillatoren. Im einfachsten Falle, wie ihn die ursprüngliche Theorie von Einstein angenommen hat, wird den Oszillatoren eine einzige Eigenschwingung zugeschrieben. Wir haben es also mit physikalischen Systemen von genau derselben Natur zu tun, wie sie der statistischen Theorie der Wärmestrahlung zugrunde gelegt werden, mit dem Unterschiede, daß hier die Oszillatoren nicht linear sind, sondern beliebige räumliche Schwingungskurven beschreiben können.[1] Aber diese eine scheinbar geringfügige Abweichung bewirkt eine starke Änderung der resultierenden Wärmeerscheinungen, eine viel stärkere, als Einstein vermutet und angenommen hat. Bedeutet $\mathfrak{r}$ den Vektor der Elongation aus der Ruhelage, ν die Frequenz des Oszillators, so ist die Systemgleichung

$$\ddot{\mathfrak{r}} + \nu^2 = 0$$

die Energiegleichung

$$2\,\mathrm{H} = \nu^2 \mathfrak{r}^2 + \dot{\mathfrak{r}}^2.\,^{2} \tag{34}$$

Die sechs Koordinaten des Phasenraumes sind ξ, η, ζ, $\dot{\xi}$, $\dot{\eta}$, $\dot{\zeta}$, wobei

$$\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2 = \mathfrak{r}^2.$$

Die Konstanten $c_1, c_2 \ldots c_6$ des Energieausdruckes II*a*) reduzieren sich auf eine einzige, indem nach 34 zu setzen ist

$$c_1 = c_2 = c_3 = \nu^2, \quad c_4 = c_5 = c_6 = 1.$$

Nimmt man noch an, daß ein physikalischer Vorgang vorhanden ist, der die Systeme quasi-regulär macht — zum Beispiel zeitweise erfolgende Zusammenstöße oder ähnliche Kraftwirkungen zwischen den Oszillatoren — so sind alle Voraussetzungen gegeben, um die in den beiden vorausgegangenen Abschnitten gegebenen Prinzipien der statistischen Mechanik anzuwenden.

Die elementare spezifische Wärme ist nach 25

$$c = k\,\mu^2 \frac{\partial^2 Q}{\partial \mu^2},$$

wo

$$Q = \lg \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-\mu E_\lambda}$$

daher

$$c = k\,\mu^2 \frac{\sum\limits_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-\mu E_\lambda} \sum\limits_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} E_\lambda^2\, e^{-\mu E_\lambda} - \left(\sum\limits_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \mathrm{E}_\lambda\, e^{-\mu E_\lambda}\right)^2}{\left(\sum\limits_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-\mu E_\lambda}\right)^2}.$$

Benutzt man noch Gleichung 24 und setzt für E_λ den Wert aus Gleichung 7 ein, so erhält man

$$\frac{c}{k} = \frac{n^{-\frac{4}{r}} C_n^2}{k^2 T^2} \frac{\sum\limits_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-\frac{n^{-\frac{2}{r}} C_n}{kT}\alpha_\lambda} \sum\limits_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \alpha_\lambda^2\, e^{-\frac{n^{-\frac{2}{r}} C_n}{kT}\alpha_\lambda} - \left(\sum\limits_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \alpha_\lambda\, e^{-\frac{n^{-\frac{2}{r}} C_n}{kT}\alpha_\lambda}\right)^2}{\left(\sum\limits_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-\frac{n^{-\frac{2}{r}} C_n}{kT}\alpha_\lambda}\right)^2}$$

---

[1] Daß für das Strahlungsproblem nur eine bestimmte Schwingungsrichtung in Betracht gezogen werden muß, liegt daran, daß das Strahlungsgesetz nach dem Kirchhoff'schen Satz für jede Polarisationsrichtung gesondert zu gelten hat.

[2] Man denke sich die Masse des oszillierenden Massenpunktes gleich eins gesetzt.

Nun ist, wie schon in § 16 ausgeführt ist,

$$n^{-\frac{2}{r}} C_n = -\frac{\Gamma^{2/r}\left(1+\frac{r}{2}\right)}{2\pi} \cdot (c_1\, c_2 \ldots c_r)^{\frac{1}{r}}\, \omega^{\frac{2}{r}},$$

und weil hier $r = 6$ ist und mit Berücksichtigung der oben angegebenen Werte von $c_1, \ldots c_6$

$$n^{-\frac{2}{r}} C_n = \frac{\nu}{2\pi}\sqrt[3]{6\omega}.$$

Setzen wir noch

$$\frac{\nu}{2\pi k}\sqrt[3]{6\omega} = \Theta,$$

so wird

$$\frac{c}{k} = \frac{\Theta^2}{T^2}\,\frac{\sum\limits_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-\frac{\Theta}{T}\alpha_\lambda} \sum\limits_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \alpha_\lambda^2\, e^{-\frac{\Theta}{T}\alpha_\lambda} - \left(\sum\limits_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \alpha_\lambda\, e^{-\frac{\Theta}{T}\alpha_\lambda}\right)^2}{\left(\sum\limits_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-\frac{\Theta}{T}\alpha_\lambda}\right)^2}$$

c ist die elementare spezifische Wärme, also die eines Atoms; sind im Grammatom N Atome, so ist die Atomwärme

$$C = Nc.$$

So erhalten wir schließlich die Formel für die Atomwärme, indem wir noch

$$\frac{\Theta}{T} = x$$

setzen:

$$C = k\,Nx^2\,\frac{\sum\limits_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-x\alpha_\lambda} \sum\limits_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \alpha_\lambda^2\, e^{-x\alpha_\lambda} - \left(\sum\limits_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \alpha_\lambda\, e^{-x\alpha_\lambda}\right)^2}{\left(\sum\limits_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-x\alpha_\lambda}\right)^2} \qquad 35)$$

Da n eine große Zahl ist und die Glieder der Summen mit hohem Index sehr klein werden, so kann man ebenso wie in der Strahlungstheorie $n = \infty$ setzen; wenn auch die Summen dann eventuell ihren unmittelbaren Sinn verlieren und zu divergenten Reihen werden, behält doch der Bruch auf der rechten Seite der Gleichung 35 stets einen Sinn. Es wird alsbald gezeigt werden, daß die Grenze, der sich der Ausdruck für $\frac{C}{kN}$ für $x = 0$, also $T = \infty$ nähert, 3 ist. Nennt man daher

$$C_\infty = \lim_{T=\infty} C$$

so ist

$$C_\infty = 3\,k\,N.$$

Nun ist α_λ, gleichgültig welche der Definitionen 8 *a)*, 8 *b)*, 8 *c)* man wählen mag, eine bloße Funktion des Index λ. Daher ist der durch Gleichung 35 gegebene Ausdruck für $\frac{C}{kN}$ also auch für $\frac{C}{C_\infty}$ eine bloße Funktion von x. Damit zeigt sich auch hier der von Debye[1] formulierte Satz — der

[1] L. c, p. 798.

übrigens allen bisher aufgestellten Theorien gemeinsam ist — erfüllt, daß $\frac{C}{C_\infty}$ eine universelle (das heißt für alle Körper mit derselben Zahl $r/2$ von Freiheitsgraden gleiche) Funktion von $\frac{\Theta}{T}$ ist.

22.

Wir wollen nun je einen Näherungsausdruck für C ableiten in den beiden Fällen, daß x eine kleine oder eine große Zahl ist. Bei der Erledigung des ersten dieser beiden Fälle, den wir zunächst in Angriff nehmen wollen, wird sich zugleich eine Entscheidung gegen einen der drei Werte von α_λ ergeben.

Für kleine Werte von x bedienen wir uns der in § 6 besprochenen Darstellung durch die Euler'sche Summenformel; die dort mit s bezeichnete Größe ist identisch mit unserem x. Dabei soll die Rechnung für jeden der drei Werte von α_λ gesondert durchgeführt werden. Zunächst sei nach $8a$

$$\alpha_\lambda = \sqrt[3]{\lambda}\,.$$

Wie im § 6 bemerkt ist, ist dabei die unmittelbare Anwendung der Formel 16 oder 17 unmöglich, weil die einzelnen Glieder unendlich groß werden; man muß vorher eine Zerlegung der Summe vornehmen.

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-x\sqrt[3]{\lambda}} = 1 + \sum_{\lambda=1}^{\lambda=n-1} e^{-x\sqrt[3]{\lambda}} = 1 + \int_1^\infty e^{-x\sqrt[3]{y}}\,dy - A_1 e^{-x} + \frac{1}{3} A_2\, x\, e^{-x} - + \ldots =$$

$$= 1 + \int_1^\infty e^{-x\sqrt[3]{y}}\,dy + \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{36}\,x + \ldots\right) e^{-x};$$

und da

$$\int_1^\infty e^{-x\sqrt[3]{y}}\,dy = \frac{3}{x^3}\int_x^\infty u^2 e^{-u}\,du = \frac{3}{x^3}\,(x^2+2x+2)\,e^{-x},$$

so ist

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-x\sqrt[3]{\lambda}} = 1 + \left(\frac{6}{x^3} + \frac{6}{x^2} + \frac{3}{x} + \frac{1}{2} + \frac{1}{36}\,x + \ldots\right) e^{-x}.$$

Ferner ist

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \sqrt[3]{\lambda}\, e^{-x\sqrt[3]{\lambda}} = \sum_{\lambda=1}^{\lambda=n-1} \sqrt[3]{\lambda}\, e^{-x\sqrt[3]{\lambda}} = \int_1^\infty \sqrt[3]{y}\, e^{-x\sqrt[3]{y}}\,dy - A_1 e^{-x} - \frac{1}{3} A_2\,(1-x)\,e^{-x} \ldots =$$

$$= \int_1^\infty \sqrt[3]{y}\, e^{-x\sqrt[3]{y}}\,dy + \left(\frac{17}{36} - \frac{1}{36}\,x + \ldots\right) e^{-x};$$

$$\int_1^\infty \sqrt[3]{y}\, e^{-x\sqrt[3]{y}}\,dy = \frac{3}{x^4}\int_x^\infty u^3 e^{-u}\,du = \frac{3}{x^4}\,(x^3 + 3x^2 + 6x + 6)\,e^{-x};$$

daher

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \sqrt[3]{\lambda}\, e^{-x\sqrt[3]{\lambda}} = \left(\frac{18}{x^4} + \frac{18}{x^3} + \frac{9}{x^2} + \frac{3}{x} + \frac{17}{36} - \frac{1}{36}\,x + \ldots\right) e^{-x}.$$

Endlich

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \sqrt[3]{\lambda^2}\, e^{-x\sqrt[3]{\lambda}} = \sum_{\lambda=1}^{\lambda=n-1} \sqrt[3]{\lambda^2}\, e^{-x\sqrt[3]{\lambda}} = \int_1^\infty \sqrt[3]{y^2}\, e^{-x\sqrt[3]{y}}\,dy - A_1 e^{-x} - \frac{1}{3} A_2\,(2-x)\,e^{-x} - \ldots =$$

$$= \int_1^\infty \sqrt[3]{y^2}\, e^{-x\sqrt[3]{y}}\,dy + \left(\frac{4}{9} - \frac{1}{36}\,x + - \ldots\right) e^{-x};$$

und da

$$\int_1^\infty \sqrt[3]{y^2}\, e^{-x\sqrt[3]{y}}\, dy = \frac{3}{x^5}\int_x^\infty u^4 e^{-u}\, du = \frac{3}{x^5}(x^4 + 4x^3 + 12x^2 + 24x + 24)\, e^{-x},$$

so ist

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \sqrt[3]{\lambda^2}\, e^{-x\sqrt[3]{\lambda}} = \left(\frac{72}{x^5} + \frac{72}{x^4} + \frac{36}{x^3} + \frac{12}{x^2} + \frac{3}{x} + \frac{4}{9} - \frac{1}{36}x + \ldots\right) e^{-x}.$$

Demnach haben wir

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-x\sqrt[3]{\lambda}} \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \sqrt[3]{\lambda^2}\, e^{-x\sqrt[3]{\lambda}} - \left(\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \sqrt[3]{\lambda}\, e^{-x\sqrt[3]{\lambda}}\right)^2 = \left(\frac{108}{x^8} + \frac{216}{x^7} + \frac{216}{x^6} + \frac{108}{x^5} + \frac{30}{x^4} + \ldots\right) e^{-2x} +$$

$$+ \left(\frac{72}{x^5} + \frac{72}{x^4} + \frac{36}{x^3} + \frac{12}{x^2} + \frac{3}{x} + \frac{4}{9} - \frac{1}{36}x + \ldots\right) e^{-x}$$

und

$$\left(\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-x\sqrt[3]{\lambda}}\right)^2 = \left(\frac{36}{x^6} + \frac{72}{x^5} + \frac{72}{x^4} + \frac{42}{x^3} + \frac{46}{3x^2} + \ldots\right) e^{-2x} + \left(\frac{12}{x^3} + \frac{12}{x^2} + \frac{6}{x} + 2 + \frac{1}{18}x + \ldots\right) e^{-x}.$$

Für diesen Fall wäre also nach 35

$$C = 3kN \frac{\left(1 + 2x + 2x^2 + x^3 + \frac{5}{18}x^4 + \ldots\right) e^{-2x} + \left(\frac{2}{3}x^3 + \frac{2}{3}x^4 + \ldots\right) e^{-x}}{\left(1 + 2x + 2x^2 + \frac{7}{6}x^3 + \frac{23}{54}x^4 + \ldots\right) e^{-2x} + \left(\frac{1}{3}x^3 + \frac{1}{3}x^4 + \ldots\right) e^{-x}}.$$

Es zeigt sich also zunächst, daß für $x = 0$ tatsächlich

$$C_\infty = 3kN$$

ist. Um aber C in der Umgebung von $x = 0$ kennen zu lernen, müssen wir noch e^{-2x} und e^{-x} nach Potenzen von x entwickeln. Tun wir dies, so erhalten wir

$$C = 3kN \frac{1 + \frac{1}{3}x^3 + \frac{5}{18}x^4 + \ldots}{1 + \frac{1}{6}x^3 + \frac{5}{54}x^4 + \ldots} =$$

$$= 3kN\left(1 + \frac{1}{6}x^3 + \frac{5}{27}x^4 + - \ldots\right).$$

Aus dieser Darstellung für C würde aber folgen, daß

$$\left(\frac{dC}{dx}\right)_{x=0} = \left(\frac{d^2C}{dx^2}\right)_{x=0} = 0, \quad \left(\frac{d^3C}{dx^3}\right)_{x=0} > 0,$$

daß also die Atomwärme für hohe Temperaturen mit wachsender Temperatur abnimmt. Da diese Folgerung mit der Erfahrung im Widerspruch steht, müssen wir die Wahl 8*a)* für α_λ

$$\alpha_\lambda = \sqrt[3]{\lambda}$$

ablehnen.

Nunmehr behandeln wir in analoger Weise den Fall 8*b)*

$$\alpha_\lambda = \sqrt[3]{\lambda + 1}.$$

Hier ist

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-x\sqrt[3]{\lambda+1}} = \sum_{\lambda=1}^{\lambda=n} e^{-x\sqrt[3]{\lambda}},$$

und da die obere Grenze unendlich groß angenommen wird, ist die Summe identisch mit der oben berechneten, also

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-x\sqrt[3]{\lambda+1}} = \left(\frac{6}{x^3} + \frac{6}{x^2} + \frac{3}{x} + \frac{1}{2} + \frac{1}{36}x + \ldots\ldots\right)e^{-x}.$$

Ebenso ist

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \sqrt[3]{\lambda+1}\, e^{-x\sqrt[3]{\lambda+1}} = \sum_{\lambda=1}^{\lambda=n} \sqrt[3]{\lambda}\, e^{-x\sqrt[3]{\lambda}} = \left(\frac{18}{x^4} + \frac{18}{x^3} + \frac{9}{x^2} + \frac{3}{x} + \frac{17}{36} - \frac{1}{36}x + \ldots\right)e^{-x}$$

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \sqrt[3]{(\lambda+1)^2}\, e^{-x\sqrt[3]{\lambda+1}} = \sum_{\lambda=1}^{\lambda=n} \sqrt[3]{\lambda^2}\, e^{-x\sqrt[3]{\lambda}} = \left(\frac{72}{x^5} + \frac{72}{x^4} + \frac{36}{x^3} + \frac{12}{x^2} + \frac{3}{x} + \frac{4}{9} - \frac{1}{36}x + \ldots\right)e^{-x}.$$

Daher ist

$$C = 3kN\,\frac{1 + 2x + 2x^2 + x^3 + \frac{5}{18}x^4 + \ldots.}{1 + 2x + 2x^2 + \frac{7}{6}x^3 + \frac{23}{54}x^4 + \ldots} =$$

$$= 3kN\left(1 + 2x + 2x^2 + x^3 + \frac{5}{18}x^4 + \ldots.\right)\left(1 - 2x + 2x^2 - \frac{7}{6}x^3 + \frac{13}{54}x^4 + - \ldots\right)$$

oder

$$C = 3kN\left(1 - \frac{1}{6}x^3 + \frac{5}{27}x^4 + \ldots\right) \qquad 36\,b)$$

Schließlich untersuchen wir noch den Fall $8c)$

$$\alpha_\lambda = \frac{1}{2}\left(\sqrt[3]{\lambda} + \sqrt[3]{\lambda+1}\right).$$

Es ist

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-\frac{1}{2}x\left(\sqrt[3]{\lambda}+\sqrt[3]{\lambda+1}\right)} = e^{-\frac{1}{2}x} + \int_1^\infty e^{-\frac{1}{2}x\left(\sqrt[3]{y}+\sqrt{y+1}\right)}dy - \left[A_1 - \frac{1}{12}\left(2+\sqrt[3]{2}\right)A_2 x + \ldots\right]e^{-\frac{1}{2}(1+\sqrt[3]{2})x} =$$

$$= e^{-\frac{1}{2}x} + \int_1^\infty e^{-\frac{1}{2}x\left(\sqrt[3]{y}+\sqrt[3]{y+1}\right)}dy + \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{144}\left(2+\sqrt[3]{2}\right)x + \ldots\right]e^{-\frac{1}{2}(1+\sqrt[3]{2})x}.$$

Die direkte Berechnung des Integrals ist sehr kompliziert. Da wir aber nur die Entwicklung nach Potenzen von x in der Umgebung von $x = 0$ brauchen, können wir folgendermaßen vorgehen:

Zunächst ist

$$\int_1^\infty e^{-x\sqrt[3]{y}}\,dy > \int_1^\infty e^{-\frac{1}{2}x\left(\sqrt[3]{y}+\sqrt[3]{y+1}\right)}dy > \int_1^\infty e^{-x\sqrt[3]{y+1}}\,dy.$$

Nun hatten wir oben erhalten, daß

$$\int_1^\infty e^{-x\sqrt[3]{y}}\,dy = \frac{3}{x^3}(2 + 2x + x^2)\,e^{-x} = \frac{6}{x^3}\left(1 - \frac{1}{6}x^3 + - \ldots\right).$$

Ebenso ist

$$\int_1^\infty e^{-x\sqrt[3]{y+1}}\,dy = \int_{\sqrt[3]{2}}^\infty e^{-x\sqrt[3]{y}}\,dx = \frac{3}{x^3}(2 + 2\sqrt[3]{2}x + \sqrt[3]{4}\,x^2)\,e^{-x\sqrt[3]{2}} = \frac{6}{x^3}\left(1 - \frac{1}{3}x^3 + - \ldots\right).$$

Hieraus ist zu schließen, daß auch das fragliche Integral, multipliziert mit x^3, nach positiven Potenzen von x entwickelbar ist, und daß in dieser Potenzreihe die Glieder mit x und x^2 verschwinden. Um diese Potenzreihe zu erhalten, setzen wir

$$x^3\int_1^\infty e^{-\frac{1}{2}x\left(\sqrt[3]{y}+\sqrt[3]{y+1}\right)}\,dy = \int_{x^3}^\infty e^{-\frac{1}{2}\left(\sqrt[3]{z}+\sqrt[3]{z+x^3}\right)}\,dz = J(x)$$

und berechnen sukzessive die einzelnen Glieder der Mac'Laurin'schen Reihe

$$J(x) = J(0) + \left(\frac{dJ}{dx}\right)_{x=0} x + \frac{1}{2}\left(\frac{d^2J}{dx^2}\right)_{x=0} x^2 + \ldots$$

Es ist

$$J(0) = \int_0^\infty e^{-\sqrt[3]{z}}\,dz = 3\int_0^\infty u^2 e^{-u}\,du = 6,$$

$$\frac{dJ}{dx} = -3x^2 e^{-\frac{1}{2}(1+\sqrt[3]{2})x} - \frac{1}{2}x^2\int_{x^3}^\infty (z+x^3)^{-\frac{2}{3}} e^{-\frac{1}{2}\left(\sqrt[3]{z}+\sqrt[3]{z+x^3}\right)}\,dz,$$

$$\frac{d^2J}{dx^2} = \left(-6x + \frac{3}{4}(2+\sqrt[3]{2})x^2\right)e^{-\frac{1}{2}(1+\sqrt[3]{2})x} -$$

$$- x\int_{x^3}^\infty\left[(z+x^3)^{-\frac{2}{3}} - \frac{1}{4}x^3(z+x^3)^{-\frac{4}{3}} - x^3(z+x^3)^{-\frac{5}{3}}\right]e^{-\frac{1}{2}\left(\sqrt[3]{z}+\sqrt[3]{z+x^3}\right)}\,dz$$

$$\frac{d^3J}{dx^3} = \left[-6 + \frac{3}{4}(8+11\sqrt[3]{2})x - \frac{3}{16}(4+10\sqrt[3]{2}+7\sqrt[3]{4})x^2\right]e^{-\frac{1}{2}(1+\sqrt[3]{2})x} -$$

$$-\int_{x^3}^\infty\left[(z+x^3)^{-\frac{2}{3}} - \frac{3}{2}x^3(z+x^3)^{-\frac{4}{3}} - 6x^3(z+x^3)^{-\frac{5}{3}} + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{8}x^6(z+x^3)^{-2} + \frac{3}{2}x^6(z+z^3)^{-\frac{7}{3}} + 5x^6(x+x^3)^{-\frac{8}{3}}\right]e^{-\frac{1}{2}\left(\sqrt[3]{z}+\sqrt[3]{z+x^3}\right)}\,dz$$

$$\frac{d^4J}{dx^4} = \left[\frac{3}{8}(16+19\sqrt[3]{2}) - \frac{3}{16}(16+42\sqrt[3]{2}+31\sqrt[3]{4})x + \right.$$

$$\left. \frac{3}{32}(19+14\sqrt[3]{2}+17\sqrt[3]{4})x^2\right]e^{-\frac{1}{2}(1+\sqrt[3]{2})x}$$

$$+ x^2\int_{x^3}^\infty\left[5(z+x^3)^{-\frac{4}{3}} + 20(z+x^3)^{-\frac{5}{3}} - \frac{3}{2}x^3(z+x^3)^{-2} - 18x^3(z+x^3)^{-\frac{7}{3}} - \right.$$

$$- \left(60 - \frac{1}{16}x^3\right)x^3(z+x^3)^{-\frac{8}{3}} + \frac{3}{2}x^6(z+x^3)^{-3} +$$

$$\left. + 13x^6(z+x^3)^{-\frac{10}{3}} + 40x^6(z+x^3)^{-\frac{11}{3}}\right]e^{-\frac{1}{2}\left(\sqrt[3]{z}+\sqrt[3]{z+x^3}\right)}\,dz.$$

Daher ist tatsächlich

$$\left(\frac{dJ}{dx}\right)_{x=0} = \left(\frac{d^2J}{dx^2}\right)_{x=0} = 0,$$

ferner

$$\left(\frac{d^3J}{dx^3}\right)_{x=0} = -9, \quad \left(\frac{d^4J}{dx^4}\right)_{x=0} = \frac{3}{8}(16+19\sqrt[3]{2}), \text{ etc.}$$

Demnach ist

$$\int_1^\infty e^{-\frac{1}{2}x(\sqrt[3]{y}+\sqrt[3]{y+1})}dy = \frac{6}{x^3}\left(1-\frac{1}{4}x^3+\frac{1}{384}(16+19\sqrt[3]{2})x^4-+\ldots\right)$$

und

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-\frac{1}{2}x(\sqrt[3]{\lambda}+\sqrt[3]{\lambda+1})} = \frac{6}{x^3}-\frac{1}{576}(280-31\sqrt[3]{2})x-+\ldots$$

Ferner ist

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1}\frac{1}{2}(\sqrt[3]{\lambda}+\sqrt[3]{\lambda+1})e^{-\frac{1}{2}x(\sqrt[3]{\lambda}+\sqrt[3]{\lambda+1})} = \frac{1}{2}e^{-\frac{1}{2}x}+\int_1^\infty\frac{1}{2}(\sqrt[3]{y}+\sqrt[3]{y+1})e^{-\frac{1}{2}x(\sqrt[3]{y}+\sqrt[3]{y+1})}dy -$$

$$-\left[\frac{1}{2}A_1(1+\sqrt[3]{2})+\frac{1}{6}\left(1+\frac{1}{2}\sqrt[3]{2}\right)A_2\left(1-\frac{1}{2}(1+\sqrt[3]{2})x\right)+\ldots\right]e^{-\frac{1}{2}(1+\sqrt[3]{2})x} =$$

$$= \frac{1}{2}e^{-\frac{1}{2}x}+\int_1^\infty\frac{1}{2}(\sqrt[3]{y}+\sqrt[3]{y+1})e^{-\frac{1}{2}x(\sqrt[3]{y}+\sqrt[3]{y+1})}dy +$$

$$+\left[\frac{1}{4}(1+\sqrt[3]{2})-\frac{1}{72}\left(1+\frac{1}{2}\sqrt[3]{2}\right)\left(1-\frac{1}{2}(1+\sqrt[3]{2})x\right)+-\ldots\right]e^{-\frac{1}{2}(1+\sqrt[3]{2})x}.$$

Da aber

$$\int_1^\infty\frac{1}{2}(\sqrt[3]{y}+\sqrt[3]{y+1})e^{-\frac{1}{2}x(\sqrt[3]{y}+\sqrt[3]{y+1})}dy = -\frac{d}{dx}\int_1^\infty e^{-\frac{1}{2}x(\sqrt[3]{y}+\sqrt[3]{y+1})}dy =$$

$$= \frac{18}{x^4}\left[1-\frac{1}{1152}(16+19\sqrt[3]{2})x^4+-\ldots\right],$$

so ist

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1}\frac{1}{2}(\sqrt[3]{\lambda}+\sqrt[3]{\lambda+1})e^{-\frac{1}{2}x(\sqrt[3]{\lambda}+\sqrt[3]{\lambda+1})} = \frac{18}{x^4}+\frac{1}{576}(280-31\sqrt[3]{2})+-\ldots.$$

Endlich ist

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1}\frac{1}{4}(\sqrt[3]{\lambda}+\sqrt[3]{\lambda+1})^2e^{-\frac{1}{2}x(\sqrt[3]{\lambda}+\sqrt[3]{\lambda+1})} = \frac{1}{4}e^{-\frac{1}{2}x}+\int_1^\infty\frac{1}{4}(\sqrt[3]{y}+\sqrt[3]{y+1})^2e^{-\frac{1}{2}x(\sqrt[3]{y}+\sqrt[3]{y+1})}dy -$$

$$-\left[\frac{1}{4}(1+\sqrt[3]{2})^2A_1+\frac{1}{6}(1+\sqrt[3]{2})\left(1+\frac{1}{2}\sqrt[3]{2}\right)A_2\left(1-\frac{1}{4}(1+\sqrt[3]{2})x\right)+\ldots\right]e^{-\frac{1}{2}(1+\sqrt[3]{2})x} =$$

$$= \frac{1}{4}e^{-\frac{1}{2}x}+\int_1^\infty\frac{1}{4}(\sqrt[3]{y}+\sqrt[3]{y+1})^2e^{-\frac{1}{2}x(\sqrt[3]{y}+\sqrt[3]{y+1})}dy +$$

$$+\left[\frac{1}{8}(1+\sqrt[3]{2})^2-\frac{1}{72}\left(1+\frac{3}{2}\sqrt[3]{2}+\frac{1}{2}\sqrt[3]{4}\right)\left(1-\frac{1}{4}(1+\sqrt[3]{2})x\right)+-\ldots\right]e^{-\frac{1}{2}(1+\sqrt[3]{2})x}.$$

Nun ist

$$\int_1^\infty \frac{1}{4}(\sqrt[3]{y}+\sqrt[3]{y+1})^2 e^{-\frac{1}{2}x(\sqrt[3]{y}+\sqrt[3]{y+1})} dy = \frac{d^2}{dx^2}\int_1^\infty e^{-\frac{1}{2}x(\sqrt[3]{y}+\sqrt[3]{y+1})} dy = \frac{72}{x^5}(1+-\ldots),$$

wobei die niedrigste Potenz der durch Punkte angedeuteten Potenzreihe die fünfte ist. Daher haben wir

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \frac{1}{4}(\sqrt[3]{\lambda}+\sqrt[3]{\lambda+1})^2 e^{-\frac{1}{2}x(\sqrt[3]{\lambda}+\sqrt[3]{\lambda+1})} = \frac{72}{x^5}+-\ldots$$

So erhält man

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-\frac{1}{2}x(\sqrt[3]{\lambda}+\sqrt[3]{\lambda+1})} \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \frac{1}{4}(\sqrt[3]{\lambda}+\sqrt[3]{\lambda+1})^2 e^{-\frac{1}{2}x(\sqrt[3]{\lambda}+\sqrt[3]{\lambda+1})} -$$

$$-\left(\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \frac{1}{2}(\sqrt[3]{\lambda}+\sqrt[3]{\lambda+1}) e^{-\frac{1}{2}x(\sqrt[3]{\lambda}+\sqrt[3]{\lambda+1})}\right)^2 = \frac{108}{x^8} - \frac{3\,(280-31\sqrt[3]{2})}{16\,x^4} + - \ldots$$

$$\left(\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-\frac{1}{2}x(\sqrt[3]{\lambda}+\sqrt[3]{\lambda+1})}\right)^2 = \frac{36}{x^6} - \frac{1}{48}(280-31\sqrt[3]{2})\frac{1}{x^2} + - \ldots\ldots$$

Demnach erhält man für den Fall 8*c)*

$$C = 3kN\left(1 - \frac{280-31\sqrt[3]{2}}{864}x^4 + - \ldots\right)$$

oder

$$\frac{C}{C_\infty} = 1 - 0\cdot 279\,x^4 + - \ldots \qquad 36\,c)$$

Man erkennt, daß in den beiden letzten Fällen 8*b)* und 8*c)* die Atomwärme für hohe Temperaturen in Übereinstimmung mit der Erfahrung mit der Temperatur wächst. Eine Entscheidung zwischen den beiden Fällen kann nur durch genaueren Vergleich mit erfahrungsmäßigen Daten gefunden werden, zu welchem Zwecke sich aber die Untersuchung des Bereichs niedriger Temperaturen besser eignet.

23.

Es werde nunmehr ein Näherungsausdruck für C bei großen Werten von x, also niedrigen Temperaturen abgeleitet. Zu diesem Zweck wollen wir zunächst den Zähler des Bruches auf der rechten Seite von 35 noch etwas umformen. Es ist

$$\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-x\alpha_\lambda} \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \alpha_\lambda^2 e^{-x\alpha_\lambda} - \left(\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} \alpha_\lambda e^{-x\alpha_\lambda}\right)^2 = \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1}\sum_{\mu=\lambda+1}^{\mu=n-1} (\alpha_\lambda^2+\alpha_\mu^2)\, e^{-x(\alpha_\lambda+\alpha_\mu)} -$$

$$-2\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1}\sum_{\mu=\lambda+1}^{\mu=n-1} \alpha_\lambda \alpha_\mu\, e^{-x(\alpha_\lambda+\alpha_\mu)} =$$

$$= \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1}\sum_{\mu=\lambda+1}^{\mu=n-1} (\alpha_\mu-\alpha_\lambda)^2 e^{-x(\alpha_\lambda+\alpha_\mu)} = \frac{1}{2}\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1}\sum_{\mu=0}^{\mu=n-1} (\alpha_\lambda-\alpha_\mu)^2 e^{-x(\alpha_\lambda+\alpha_\mu)}.$$

Da man außerdem schreiben kann

$$\left(\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1} e^{-x\alpha_\lambda}\right)^2 = \sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1}\sum_{\mu=0}^{\mu=n-1} e^{-x(\alpha_\lambda+\alpha_\mu)},$$

so haben wir für C die Formel

$$C = k\,N x^2 \frac{\frac{1}{2}\sum\limits_{\lambda=0}^{\lambda=n-1}\sum\limits_{\mu=0}^{\mu=n-1}(\alpha_\lambda-\alpha_\mu)^2 e^{-x(\alpha_\lambda+\alpha_\mu)}}{\sum\limits_{\lambda=0}^{\lambda=n-1}\sum\limits_{\mu=0}^{\mu=n-1} e^{-x(\alpha_\lambda+\alpha_\mu)}},$$

wobei α_λ einen der beiden Werte $8b)$ oder $8c)$ haben kann; oder wenn wir abkürzungsweise

$$x\,\alpha_\lambda = x_\lambda$$

setzen

$$C = kN \frac{\frac{1}{2}\sum\limits_{\lambda=0}^{\lambda=n-1}\sum\limits_{\mu=0}^{\mu=n-1}(x_\lambda-x_\mu)^2 e^{-(x_\lambda+x_\mu)}}{\sum\limits_{\lambda=0}^{\lambda=n-1}\sum\limits_{\mu=0}^{\mu=-1} e^{-(x^\lambda+x^\mu)}}. \qquad 35\,A)$$

Für große Werte von x bedienen wir uns der im § 6 angedeuteten Methode in folgender Weise: Zunächst ist

$$\left(\sum_{\lambda=0}^{\lambda=n-1}\sum_{\mu=0}^{\mu=n-1} e^{-(x_\lambda+x_\mu)}\right)^{-1} = e^{2x_0}\left[1+2\sum_{\lambda=1}^{\lambda=n-1} e^{-(x_\lambda-x_0)} + \sum_{\lambda=1}^{\lambda=n-1}\sum_{\mu=1}^{\mu=n-1} e^{-(x_\lambda+x_\mu-2x_0)}\right]^{-1}.$$

Wir setzen

$$x_\lambda - x_0 = y_\lambda$$

und entwickeln den Klammerausdruck in eine Potenzreihe.

$$\left[1+2\sum_{\lambda=1}^{\lambda=n-1} e^{-y_\lambda} + \sum_{\lambda=1}^{\lambda=n-1}\sum_{\mu=1}^{\mu=n-1} e^{-(y_\lambda+y_\mu)}\right]^{-1} = 1-\left(2\sum_{\lambda=1}^{\lambda=n-1} e^{-y_\lambda} + \sum_{\lambda=1}^{\lambda=n-1}\sum_{\mu=1}^{\mu=n-1} e^{-(y_\lambda+y_\mu)}\right)+$$

$$+\left(2\sum_{\lambda=1}^{\lambda=n-1} e^{-y_\lambda} + \sum_{\lambda=1}^{\lambda=n-}\sum_{\mu=1}^{\mu=n-1} e^{-(y_\lambda+y_\mu)}\right)^2 - \ldots =$$

$$= 1-\left(2\sum_{\lambda=1}^{\lambda=n-1} e^{-y_\lambda} + \sum_{\lambda=1}^{\lambda=n-1}\sum_{\mu=1}^{\mu=n-1} e^{-(y_\lambda+y_\mu)}\right)+$$

$$+\left(4\sum_{\lambda=1}^{\lambda=n-1}\sum_{\mu=1}^{\mu=n-1} e^{-(y_\lambda+y_\mu)} + 4\sum_{\lambda=1}^{\lambda=n-1}\sum_{\mu=1}^{\mu=n-1}\sum_{\nu=1}^{\nu=n-1} e^{-(y_\lambda+y_\mu+y_\nu)} +\right.$$

$$\left.+\sum_{\lambda-1}^{n-1}\sum_{\mu=1}^{n-1}\sum_{\nu=1}^{n-1}\sum_{\rho=1}^{n-1} e^{-(y_\lambda+y_\mu+y_\nu+y_\rho)}\right) - + \ldots = 1-2\sum_{\lambda=1}^{n-1} e^{-y_\lambda} + 3\sum_{\lambda=1}^{n-1}\sum_{\mu=1}^{n-1} e^{-(y_\lambda+y_\mu)} -$$

$$-4\sum_{\lambda=1}^{n-1}\sum_{\mu=1}^{n-1}\sum_{\nu=1}^{n-1} e^{-(y_\lambda+y_\mu+y_\nu)} + - \ldots\ldots$$

Daher ist

$$C = k\,N\,.\,\frac{1}{2}\left(\sum_{\lambda=0}^{n-1}\sum_{\mu=0}^{n-1}(y_\lambda-y_\mu)^2 e^{-(y_\lambda+y_\mu)}\right)\left[1-2\sum_{\lambda=1}^{n-1} e^{-y_\lambda} + 3\sum_{\lambda=1}^{n-1}\sum_{\mu=1}^{n-1} e^{-(y_\lambda+y_\mu)} - + \ldots\right] =$$

$$= k\,N\left(\sum_{\lambda=1}^{n-1} y_\lambda^2 e^{-y_\lambda} + \frac{1}{2}\sum_{\lambda=1}^{n-1}\sum_{\mu=1}^{n-1}(y_\lambda-y_\mu)^2 e^{-(y_\lambda+y_\mu)}\right)\left(1-2\sum_{\lambda=1}^{n-1} e^{-y_\lambda} + 3\sum_{\lambda=1}^{n-1}\sum_{\mu=1}^{n-1} e^{-y_\lambda+y_\mu} - + \ldots\right) =$$

$$= kN\left[\left(\sum_{\lambda=1}^{n-1} y_\lambda^2 e^{-y_\lambda} + \frac{1}{2}\sum_{\lambda=1}^{n-1}\sum_{\mu=1}^{n-1}(y_\lambda - y_\mu)^2 e^{-(y_\lambda+y_\mu)}\right) - 2\left(\frac{1}{2!}\sum_{\lambda=1}^{n-1}\sum_{\mu=1}^{n-1}(y_\lambda^2+y_\mu^2)e^{-(y_\lambda+y_\mu)} + \right.\right.$$

$$+ \frac{1}{2}\frac{1}{3!}\sum_{\lambda=1}^{n-1}\sum_{\mu=1}^{n}\sum_{\nu=1}^{n-1}((y_\lambda-y_\mu)^2+(y_\mu-y_\nu)^2+(y_\nu-y_\lambda)^2)e^{-(y_\lambda+y_\mu+y_\nu)}\Bigg) +$$

$$+ 3\left(\frac{1}{3!}\sum_{\lambda=1}^{n-1}\sum_{\mu=1}^{n-1}\sum_{\nu=1}^{n-1}(y_\lambda^2+y_\mu^2+y_\nu^2)e^{-(y_\lambda+y_\mu+y_\nu)} + \right.$$

$$\left.\left. + \frac{1}{2}\frac{1}{4!}\sum_{\lambda=1}^{n-1}\sum_{\mu=1}^{n-1}\sum_{\nu=1}^{n-1}\sum_{1}^{n-1}((y_\lambda-y_\mu)^2+(y_\lambda-y_\nu)^2+\ldots+(y\ \ -y_\rho)^2)e^{-(y^\lambda+y_\mu+y_\nu+y_\rho)}\right)+\ldots\right]$$

oder

$$C = kN\left[\sum_{\lambda=1}^{n-1} y_\lambda^2 e^{-y_\lambda} - \frac{1}{2}\sum_{\lambda=1}^{n-1}\sum_{\mu=1}^{n-1}(y_\lambda+y_\mu)^2 e^{-(y_\lambda+y_\mu)} + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{3}\sum_{\lambda=1}^{n-1}\sum_{\mu=1}^{n-1}\sum_{\nu=1}^{n-1}(y_\lambda+y_\mu+y_\nu)^2 e^{-(y_\lambda+y_\mu+y_\nu)} - + \ldots\right] \quad 37).$$

Der Klammerausdruck ist ein Aggregat von Gliedern, welche erstens mit wachsendem Index immer kleiner werden, und welche zweitens umso kleiner sind, mit je mehr Summenzeichen sie versehen sind; und beides um so mehr, je größer x ist. Diese Formel ist also geeignet zur Berechnung der Atomwärme bei niedrigen Temperaturen. Für die numerische Berechnung ist der Umstand besonders bequem, daß alle Glieder von der Form $z^2 e^{-z}$ sind. Hat man sich daher einmal eine Tabelle dieser Funktion entworfen, so können sämtliche Glieder aus dieser abgelesen werden, wenn man ihre Argumente bestimmt hat.

Wir wollen die ersten Glieder noch speziell ausdrücken für die beiden Fälle, daß α^λ durch $8b)$ oder $8c)$ gegeben ist. Für

$$\alpha_\lambda = \sqrt[3]{\lambda+1} \quad 8b)$$

ist

$$\alpha_1 = 1\cdot260,\quad \alpha_2 = 1\cdot442,\quad \alpha_3 = 1\cdot587,\quad \alpha_4 = 1\cdot710,\quad \alpha_5 = 1\cdot817 \text{ usw.}$$

und da hier

$$y_\lambda = x\sqrt[3]{\lambda+1} - x,$$

so ist

$$3\frac{C}{C_\infty} = ((0\cdot260\,x)^2 e^{-0\cdot260\,x} + (0\cdot442\,x)^2 e^{-0\cdot442\,x} + (0\cdot587\,x)^2 e^{-0\cdot587\,x} + (0\cdot710\,x)^2 e^{-0\cdot710\,x} +$$

$$+ (0\cdot817\,x)^2 e^{-0\cdot817\,x} + \ldots) - \left(\frac{1}{2}(0\cdot520\,x)^2 e^{-0\cdot520\,x} + (0\cdot702\,x)^2 e^{-0\cdot702\,x} + (0\cdot847\,x)^2 e^{-0\cdot847\,x} + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{2}(0\cdot884\,x)^2 e^{-0\cdot884\,x} + \ldots\right) + \left(\frac{1}{3}(0\cdot780\,x)^2 e^{-0\cdot780\,x} + \ldots\right) - + \ldots \quad 37b)$$

Im andern Fall

$$\alpha_\lambda = \frac{1}{2}(\sqrt[3]{\lambda} + \sqrt[3]{\lambda+1}) \quad 8c)$$

ist

$$y_\lambda = \frac{1}{2}x(\sqrt[3]{\lambda} + \sqrt[3]{\lambda+1}) - \frac{1}{2}x.$$

Nun ist

$$\alpha_1 = 1\cdot130,\quad \alpha_2 = 1\cdot351,\quad \alpha_3 = 1\cdot515,\quad \alpha_4 = 1\cdot649,\quad \alpha_5 = 1\cdot764 \text{ usw.}$$

Demnach haben wir

$$3\frac{C}{C_\infty} = \Big((0\cdot630\,x)^2 e^{-0\cdot630\,x} + (0\cdot851\,x)^2 e^{-0\cdot851\,x} + (1\cdot015\,x)^2 e^{-1\cdot015\,x} + (1\cdot149\,x)^2 e^{-1\cdot149\,x} + \\ + (1\cdot264\,x)^2 e^{-1\cdot264\,x} + \dots\Big) - \Big(\frac{1}{2}(1\cdot260\,x)^2 e^{-1\cdot260\,x} + (1\cdot481\,x)^2 e^{-1\cdot481\,x} + (1\cdot645\,x)^2 e^{-1\cdot645\,x} + \\ + \frac{1}{2}\Big((1\cdot702\,x)^2 e^{-1\cdot702\,x} + \dots\Big) + \Big(\frac{1}{3}(1\cdot890\,x)^2 e^{-1\cdot890\,x} + \dots\Big) - + \dots \quad 37\,c)$$

24.

Zu einem Vergleich der Formeln 36*b)* und 36*c)*, also des Bereichs hoher Temperaturen, mit der Erfahrung und zu einer Entscheidung zwischen beiden ist das vorliegende empirische Material aus zwei Gründen nicht geeignet. Erstlich erkennt man aus der Ableitung der genannten Formeln, daß ihr Gültigkeitsbereich beschränkt ist auf einen Wertebereich von x, der von Null bis zu einigen wenigen Zehnteln reicht. Hieraus folgt, daß man mit Hilfe derselben den Verlauf von $\frac{C}{C_\infty}$ in unmittelbarer Nähe der Einheit bis zu wenigen Hunderteln Unterschied verfolgen kann. Hiefür mangeln aber die experimentellen Daten beinahe vollständig. Die wenigen, welche vorhanden sind, sind nun noch aus einem andern Grunde für den vorliegenden Zweck kaum brauchbar.

Nach dem Debye'schen Satz ist $\frac{C}{C_\infty}$ eine universelle Funktion von $\frac{\Theta}{T}$. Vergleicht man also die Temperaturen T_1 und T_2, bei welchen zwei Stoffe denselben Wert von $\frac{C}{C_\infty}$ besitzen, so erhält man aus deren Verhältnis dasjenige der Materialkonstanten der beiden Stoffe Θ_1 und Θ_2. Die Temperaturen, bei denen zwei Stoffe denselben Wert von $\frac{C}{C_\infty}$ aufweisen, müssen also in einem für die beiden Stoffe konstanten Verhältnisse stehen.

Dieser Satz gestattet eine scharfe Prüfung der Güte des Beobachtungsmaterials; freilich müssen zu diesem Zwecke die Atomwärmen zweier Stoffe an einigen solchen Punkten gemessen sein, daß ihre Werte ganz oder nahezu — so daß Interpolation möglich ist — übereinstimmen.

Debye[1] hat für einige Stoffe aus den Beobachtungen die Werte von $\frac{C}{C_\infty}$ mit $C_\infty = 5.955$ cal gerechnet. Aus diesen Daten lassen sich einige Proben der angegebenen Art anstellen. So gehören beim Diamant zu den Temperaturen

306°, 331°, 358°

entsprechend die Werte von $\frac{C}{C_\infty}$

0·266, 0·308. 0·354.

Andererseits wurde bei Silber

$$\text{bei } T = 35\cdot0° \quad \frac{C}{C_\infty} = 0\cdot266$$

$$\text{und bei } T = 39\cdot1° \quad \frac{C}{C_\infty} = 0\cdot319$$

1) l. c. § 4.

gefunden. Es findet sich also der Wert $\frac{C}{C_\infty} = 0\cdot266$ zufällig exakt gleich bei $T_{\text{Diam.}} = 306°$ und $T_{Ag} = 35\cdot0°$; das Verhältnis der beiden ist

$$\frac{306}{35\cdot0} = 8\cdot7.$$

Der zweite dem Silber zugehörige Wert $\frac{C}{C_\infty} = 0\cdot319$ findet sich zwar nicht genau beim Diamant wieder; es läßt sich aber die zugehörige Temperatur $T_{\text{Diam.}}$ mit Annäherung durch Interpolation aus den Nachbarwerten $0\cdot308$ und $0\cdot354$ finden: man erhält $\frac{C}{C_\infty} = 0\cdot319$ bei $T_{\text{Diam.}} = 336\cdot5°$. Daher ist das Verhältnis der Temperaturen hier

$$\frac{336\cdot5}{39\cdot1} = 8\cdot6.$$

Die Übereinstimmung mit dem vorher gefundenen ist also sehr gut.

Nehmen wir aber nun ein anderes Beispiel: Die Atomwärmen von Aluminium bei $T_{AL} = 555°$ und von Silber bei $T_{Ag} = 589°$ sind nahezu gleich, nämlich $5\cdot98$, resp. $5\cdot99$. Das Verhältnis dieser beiden Temperaturen ist

$$\frac{T_{Ag}}{T_{AL}} = \frac{589}{555} = 1\cdot06.$$

Andrerseits ist bei $T'_{Ag} = 200°$ die Atomwärme von Silber $5\cdot61$, während sich derselbe Wert der Atomwärme bei Aluminium durch Interpolation aus den Angaben

$$C = 5\cdot57 \quad \text{bei} \quad T = 331°$$
$$C = 5\cdot75 \quad \text{bei} \quad T = 433°$$

bei $T'_{AL} = 354°$ findet. Bildet man wieder das Verhältnis, so erhält man

$$\frac{T_{Ag}}{T_{AL}} = \frac{200}{354} = 0\cdot57,$$

welcher Wert um 46% kleiner ist als der frühere. Hier zeigt sich also das Debye'sche Gesetz gar nicht erfüllt. Diese Nichtübereinstimmung dürfte aber kaum dem Versagen des Gesetzes, vielmehr der Unsicherheit des obigen Wertes $5\cdot99$ der Atomwärme zuzuschreiben sein. In der Tat ist ja derselbe nach der Nernst-Lindemann'schen Formel aus dem experimentell gefundenen Werte der Atomwärme C_p bei konstantem Druck berechnet, und es steht zu vermuten — wie auch Debye meint — daß in diesem Temperaturbereich, in welchem der Unterschied der beiden spezifischen Wärmen schon beträchtlich ist, die Formel zu versagen beginnt; darauf deutet auch die Tatsache hin, daß $\frac{C}{C_\infty} > 1$ herauskommt. Gerade in diesem Temperaturbereich aber, in unmittelbarer Nähe von $\frac{C}{C_\infty} = 1$, müßten die Daten liegen, welche zur Prüfung der Formeln 36*b)* und 36*c)* heranzuziehen wären. Unter diesen Umständen scheint mir eine solche Prüfung wenig Sinn zu haben.

Wir müssen uns also darauf beschränken, unser Gesetz in dem Bereich tiefer Temperaturen, also die Näherungsformeln 37*b)* und 37*c)* mit der Erfahrung zu vergleichen. Zum Zwecke der numerischen Berechnung dieser Formeln berechnen wir zunächst die Kurve

$$y = x^2 e^{-x}$$

für eine Anzahl von Argumentwerten (Tab. I und Fig. 2). Wie man sieht, hat die Kurve bei ungefähr $x = 2 \cdot 0$ ein Maximum.

Wir berechnen hierauf einige Glieder von 37 *b)*, in dem wir für eine Reihe von x-Werten die Größen $0 \cdot 260\,x$, $0 \cdot 442\,x$ etc. ermitteln, und zu den so erhaltenen Werten als Argumenten die zugehörigen Funktionswerte $(0 \cdot 260\,x)^2 e^{-0 \cdot 260\,x}$, $(0 \cdot 442\,x)^{2-0 \cdot 442\,x}$ etc. aus der Tabelle I aufsuchen.

Fig. 2.

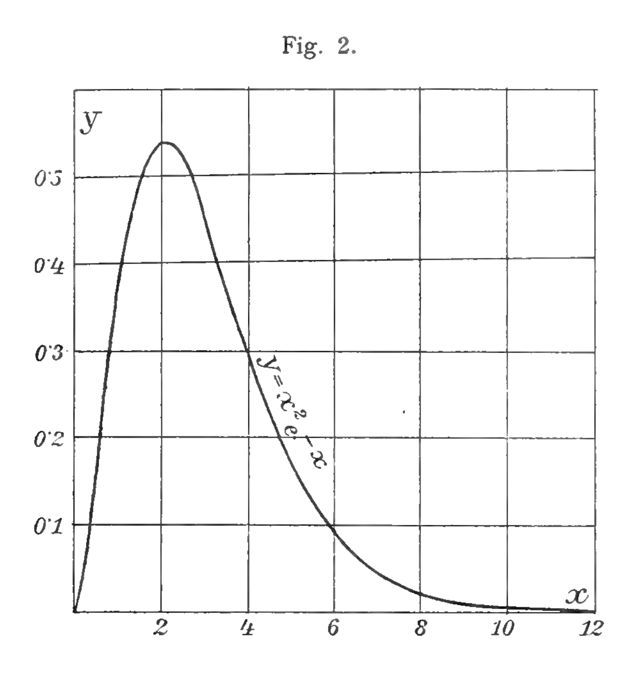


Tabelle I.

$y = x^2\, e^{-x}$

x	y	$\Delta y . 10^3$	x	y	$\Delta y . 10^3$	x	y	$\Delta y . 10^3$	x	y	$\Delta y . 10^3$
0·0	0·000		3·0	0·448		6·0	0·089		9·0	0·010	
		32·8			30·7			11·2			1·4
0·2	0·033		3·2	0·417		6·2	0·078		9·2	0·009	
		74·4			31·6			10·0			1·2
0·4	0·107		3·4	0·386		6·4	0·068		9·4	0·007	
		90·4			31·7			8·8			1·1
0·6	0·198		3·6	0·354		6·6	0·059		9·6	0·006	
		90·0			31·1			7·8			0·9
0·8	0·288		3·8	0·323		6·8	0·052		9·8	0·005	
		80·3			29·9			6·8			0·8
1·0	0·368		4·0	0·293		7·0	0·045		10·0	0·005	
		65·8			28·5			6·0			0·7
1·2	0·434		4·2	0·265		7·2	0·039		10·2	0·004	
		49·6			26·9			5·2			0·6
1·4	0·483		4·4	0·238		7·4	0·033		10·4	0·003	
		33·6			25·0			4·6			0·6
1·6	0·517		4·6	0·213		7·6	0·029		10·6	0·003	
		18·7			23·1			4·0			0·4
1·8	0·536		4·8	0·190		7·8	0·025		10·8	0·002	
		5.6			21·2			3·5			0·4
2·0	0·541		5·0	0·168		8·0	0·021		11·0	0·002	
		4·9			19·2			3·0			0·3
2·2	0·536		5·2	0·149		8·2	0·018		11·2	0·002	
		13·8			17·5			2·6			0·3
2·4	0·523		5·4	0·132		8·4	0·016		11·4	0·001	
		20·4			15·7			2·3			0·2
2·6	0·502		5·6	0·116		8·6	0·014		11·6	0·001	
		25·3			14·1			2·0			0·2
2·8	0·477		5·8	0·102		8·8	0·012		11·8	0·001	
		28·7			12·7			1·7			0·2

So sind die Näherungskurven Fig. 3

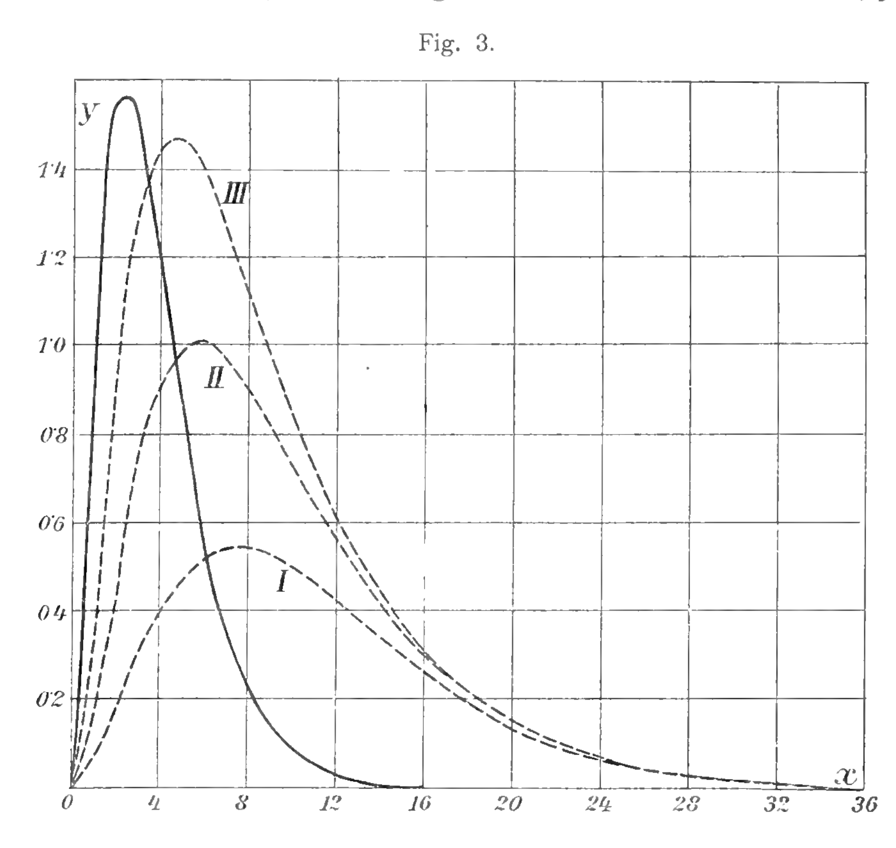
Kurve I $y = (0\cdot260\,x)^2 e^{-0\cdot260\,x}$

Kurve II $y = (0\cdot260\,x)^2 e^{-0\cdot260\,x} + (0\cdot442\,x)^2 e^{-0\cdot442\,x}$

Kurve III $y = (0\cdot260\,x)^2 e^{-0\cdot260\,x} + (0\cdot442\,x)^2 e^{-0\cdot442\,x} + (0\cdot587\,x)^{2-0\cdot587\,x}$

gewonnen worden. Man erkennt, daß bei wachsender Annäherung das Maximum der Kurve immer mehr nach links und nach oben rückt; die Endlage des Maximums ist $x = 0$, $y = 3$. Natürlich sind

Fig. 3.



bei jeder Näherung nur die Werte rechts vom Maximum und in einiger Entfernung von demselben brauchbar.

Tabelle II.

$$y = (0\cdot260\,x)^2\, e^{-0\cdot260\,x} + (0\cdot442\,x)^2\, e^{-0\cdot442\,x} + (0\cdot587\,x)^2\, e^{-0\cdot587\,x}.$$

x	y	x	y	x	y	x	y
8·0	1·119	14·0	0·446	20·0	0·161	31·6	0·018
8·4	1·061	14·4	0·419	20·4	0·151	32·4	0·016
8·8	1·004	14·8	0·392	21·2	0·131	33·2	0·014
9·2	0·949	15·2	0·367	22·0	0·113	34·0	0·012
9·6	0·896	15·6	0·344	22·8	0·100	34·8	0·010
10·0	0·843	16·0	0·322	23·6	0·084	35·6	0·009
10·4	0·793	16·4	0·301	24·4	0·074	36·4	0·007
10·8	0·746	16·8	0·279	25·2	0·064	37·2	0·006
11·2	0·702	17·2	0·264	26·0	0·054	38·0	0·005
11·6	0·655	17·6	0·245	26·8	0·047	38·8	0·005
12·0	0·618	18·0	0·228	27·6	0·040	39·6	0·004
12·4	0·580	18·4	0·213	28·4	0·034	40·4	0·003
12·8	0·542	18·8	0·199	29·2	0·029	41·2	0·003
13·2	0·509	19·2	0·186	30·0	0·025	42·0	0·002
13·6	0·477	19·6	0·172	30·8	0·021	42·8	0·002

Wir wollen uns mit der durch Kurve III dargestellten Annäherung begnügen und den für uns in Betracht kommenden Teil derselben auch tabellarisch (siehe Tab. II) darstellen.

In derselben Weise gehen wir mit 37 *c)* vor, begnügen uns aber, um die Figur nicht undeutlich zu machen, nur die letzte (dritte) Näherungskurve (in der Figur unbezeichnet)

$$y = (0\cdot 630\,x)^2 e^{-0\cdot 630\,x} + (0\cdot 851\,x)^{2-0\cdot 851\,x} + (1\cdot 015\,x)^2 e^{-1\cdot 015\,x}$$

zu zeichnen. Tabelle III gibt den zur Berechnung der Atomwärme brauchbaren Teil derselben zahlenmäßig wieder.

Die Prüfung der Formeln 37 *b)* und 37 *c)* an der Erfahrung und eventuell die Entscheidung zwischen beiden nehmen wir an dem klassischen Fall des Diamants vor. Wir bilden die Werte $3\,\frac{C}{C_\infty}$ mit den beobachteten C, indem wir die in der Debye'schen Arbeit angeführten Zahlen für $\frac{C}{C_\infty}$ (mit $C = 5\cdot 955$) benutzen, und rechnen zu jedem solchen Werte einmal nach Formel 37 *b)*, dann nach Formel 37 *c)* das zugehörige $x = \frac{\Theta}{T}$; dabei begnügen wir uns bei beiden Formeln mit der Annäherung durch die drei ersten Glieder, so daß wir die Tabellen II und III verwenden können. Aus x erhält

Tabelle III.

$$y = (0\cdot 630\,x)^2\, e^{-0\cdot 630\,x} + (0\cdot 851\,x)^2\, e^{-0\cdot 851\,x} + (1\cdot 015\,x)^2\, e^{-1\cdot 015\,x}.$$

x	y	x	y	x	y	x	y
4·0	1·183	7·2	0·338	10·4	0·076	13·6	0·015
4·2	1·112	7·4	0·310	10·6	0·069	13·8	0·014
4·4	1·042	7·6	0·283	10·8	0·063	14·0	0·013
4·6	0·974	7·8	0·257	11·0	0·056	14·2	0·012
4·8	0·910	8·0	0·236	11·2	0·051	14·4	0·010
5·0	0·847	8·2	0·217	11·4	0·045	14·6	0·009
5·2	0·779	8·4	0·197	11·6	0·041	14·8	0·008
5·4	0·725	8·6	0·178	11·8	0·038	15·0	0·007
5·6	0·667	8·8	0·163	12·0	0·035	15·2	0·006
5·8	0·618	9·0	0·148	12·2	0·031	15·4	0·006
6·0	0·567	9·2	0·134	12·4	0·027	15·6	0·005
6·2	0·523	9·4	0·121	12·6	0·025	15·8	0·005
6·4	0·481	9·6	0·110	12·8	0·023	16·0	0·004
6·6	0·441	9·8	0·101	13·0	0·021	16·2	0·004
6·8	0·405	10·0	0·092	13·2	0·019	16·4	0·004
7·0	0·371	10·2	0·084	13·4	0·017	16·6	0·003

man in jedem Falle durch Multiplikation mit der entsprechenden Temperatur T die Konstante Θ. Die folgende Tabelle IV enthält in der ersten Kolonne die Temperaturen, in der zweiten die empirischen Werte von $3\,\frac{C}{C_\infty}$ für Diamant, in der dritten die zugehörigen Werte von x, wie sie durch lineare Interpolation aus Tabelle II folgen, in der vierten die aus diesen folgenden Werte von Θ; die fünfte und sechste Kolonne bringt die entsprechenden Werte von x, respektive Θ, wie sie nach Formel 37 *c)*

also aus Tabelle III folgen. Endlich gibt die siebente und achte Kolonne dieselben Größen nach der Formel von Einstein

$$\frac{C}{C_\infty} = \frac{x^2 e^{-x}}{(e^x-1)^2}.$$

Die Größe Θ sollte, wenn die betreffende Formel richtig ist, konstant sein. Nun sieht man zunächst in allen drei Fällen bei 92° eine starke Abweichung des Wertes von Θ vom Durchschnitt im

Tabelle IV.

Diamant.

T	$3\frac{C}{C_\infty}$	Aus Tab. II		Aus Tab. III		nach Einstein	
		x	Θ	x	Θ	x	Θ
92°	0·015	32·8	(3018)	13·6	(1251)	9·8	(902)
205	0·312	16·20	3321	7·39	1515	5·79	1187
209	0·333	15·80	3302	7·23	1511	5·69	1188
220	0·363	15·27	3359	7·05	1551	5·56	1223
222	0·384	14·93	3239	6·92	1536	5·48	1217
232	0·435	14·16	3285	6·63	1538	5·27	1222
243	0·480	13·56	3295	6·40	1555	5·11	1241
262	0·573	12·47	3267	5·98	1567	4·82	1263
284	0·681	11·38	3232	5·55	1576	4·53	1286
306	0·798	10·36	3170	5·14	1573	4·26	1303
331	0·924	9·39	3108	4·06	1344	3·98	1317

selben Sinn; dieser Umstand rührt möglicherweise von einem Messungsfehler her, was bei der Kleinheit der zu messenden Größe (spez. Wärme zirka 0·002 cal/*g*) nicht zu verwundern wäre; wir schließen daher diese Beobachtung aus. Ferner erkennen wir, daß die nach Formel 37*c)* berechneten Werte (Kolonne VI) bei 331°, die nach 37*b)* berechneten schon bei 306° eine stärkere Abweichung zu zeigen beginnen. Dies zeigt, daß in diesem Bereiche die verwendete Näherung nicht mehr ausreicht, man also weitere Glieder der Formeln 37*b*), respektive 37*c*) hinzunehmen müßte. Zur Prüfung der verwendeten Näherungsformeln müssen wir uns also auf den Temperaturbereich bis 306° beschränken. Berechnen wir nun zunächst aus den Werten in Kolonne IV das Mittel, so erhalten wir $\Theta = 3274$; die maximale Abweichung von diesem findet sich bei $T = 306°$ und beträgt 3·2%, der mittlere Fehler ist 1·3%. Hingegen ist das Mittel der Werte in Kolonne VI $\Theta = 1547$ mit einer maximalen Abweichung von 1·9% bei $T = 209°$ und einem mittleren Fehler von 1·2%. Schließlich gibt Kolonne VIII einen Mittelwert $\Theta = 1237$, einen maximalen Fehler von 9·4% bei $T = 306°$ und einen mittleren Fehler von 3·1%. Man erkennt also, daß beide Formeln, 37 *b)* und 37*c)*, schon bei der verwendeten Näherung, bei welcher bloß die drei ersten Glieder berücksichtigt werden, den Beobachtungen weit besser genügt als die Einstein'sche; in der Tat sieht man aus Kolonne VIII, daß die Θ-Werte der Einstein'schen Gleichung von $T = 222°$ an einen deutlichen Gang aufweisen. Ferner scheint Formel 37*c)* der Formel 37*b)* überlegen zu sein; aber diese Überlegenheit läßt sich so formulieren, daß bei demselben Grade der Annäherung die erstere den Beobachtungen in einem weiteren Bereich genügt als die letztere. In der Tat werden die Fehler im zweiten Fall geringer, wenn man den Wert $\Theta = 3170$ der Kolonne IV bei $T = 306°$ nicht mehr zur Mittelberechnung heranzieht; es wird dann der Mittelwert $\Theta = 3288$, der maximale Fehler 2·1%, der mittlere nicht ganz 1%. Es genügt also bei der verwendeten Näherung Formel 37*b)* den Beobachtungen gut bis 284°, Formel 37 *c*) aber bis 306°.

In Tabelle V sind außer den beobachteten Werten von $\frac{C}{C_\infty}$ die nach Formel 37 *b)* mit $\Theta = 3274$, nach Formel 37 *c)* mit $\Theta = 1547$ und nach Einstein's Formel mit $\Theta = 1237$ berechneten enthalten; Kolonne V gibt außerdem die Werte von $\frac{C}{C_\infty}$ nach 37 *b)* mit dem sachgemäßeren Werte $\Theta = 3288$. Die unter Δ angegebenen Zahlen geben die Abweichungen der berechneten Werte von den beobachteten.

Tabelle V.

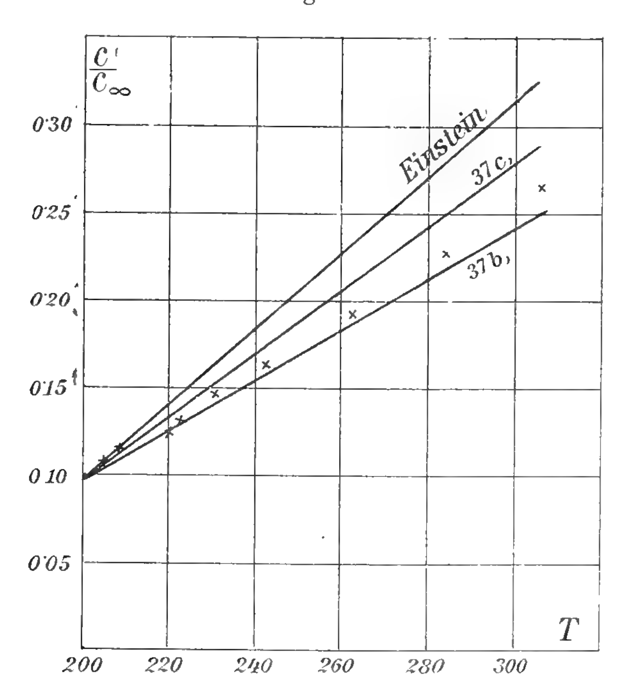
Diamant.

T	$\frac{C}{C_\infty}$ beob.	Nach 37 *b)* $\Theta = 3274°$		Nach 37 *b)* $\Theta = 3288°$		Nach 37 *c)* $\Theta = 1547°$		Nach Einstein $\Theta = 1237°$	
		$\frac{C}{C_\infty}$	Δ	$\frac{C}{C_\infty}$	Δ	$\frac{C}{C_\infty}$	Δ	$\frac{C}{C_\infty}$	Δ
205°	0·104	0·108	0·004	0·107	0·003	0·097	—0·007	0·088	—0·016
209	0·111	0·113	0·002	0·117	0·006	0·103	—0·008	0·095	—0·016
220	0·121	0·129	0·008	0·128	0·007	0·122	+0·001	0·116	—0·005
222	0·128	0·132	0·004	0·130	0·002	0·125	—0·003	0·120	—0·008
232	0·145	0·146	0·001	0·145	0·000	0·143	—0·002	0·140	—0·005
243	0·160	0·162	0·002	0·161	0·001	0·162	+0·002	0·162	+0·002
262	0·191	0·190	—0·001	0·189	—0·002	0·197	0·006	0·202	0·011
284	0·227	0·189	—0·038	0·209	—0·018	0·237	0·010	0·250	0·023
306	0·266	0·253	—0·013	0·251	—0·015	0·276	0·010	0·298	0·032

Eine Entscheidung zwischen den beiden Formeln 37 *b)* und 37 *c)* ist, wie man sieht, hier noch schwer zu treffen.

Es wurden endlich die Werte von $\frac{C}{C_\infty}$ nach allen drei Formeln auch so berechnet, daß man für Θ den aus der Beobachtung $\frac{C}{C_\infty} = 0 \cdot 104$ bei 205° folgenden Wert zugrunde legte; derselbe beträgt

Fig. 4.



für die Formel 37 *b)* $\Theta = 3321$, für die Formel 37 *c)* $\Theta = 1515$, für die Formel von Einstein $\Theta = 1187$. Die Resultate sind zugleich mit den beobachteten Werten in Fig. 4 dargestellt. Man gewinnt hier den

Eindruck, daß sich die Beobachtungen besser der Formel 37 *b)* anschmiegen; die Einstein'sche Kurve verläuft überall viel zu hoch.

Wir wollen zur Beleuchtung der Frage noch die Versuchsreihe heranziehen, welche P. Günther[1] an Eisen gewonnen hat. Wie er angibt, genügen seine Beobachtungen in ihrem ganzen Verlauf dem

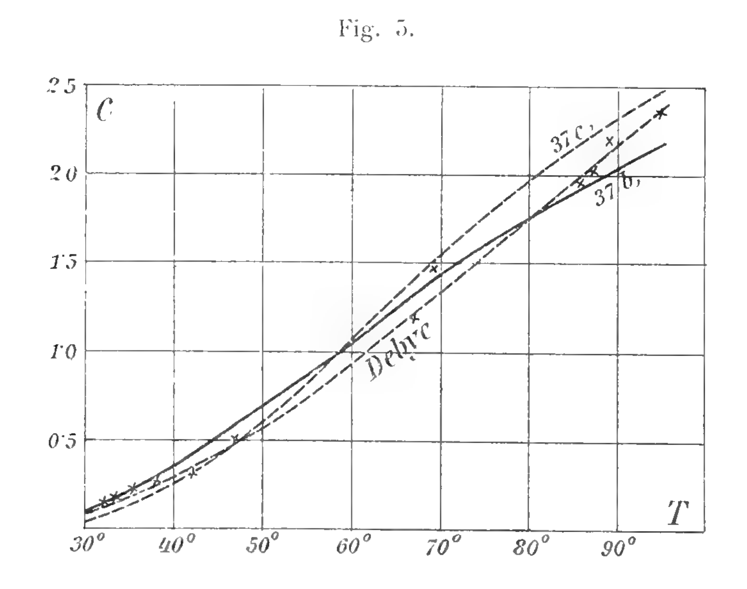
Tabelle VI.

Eisen.

T	C beob.	C ber. nach		
		37 *b)* $\Theta = 774°$	37 *c)* $\Theta = 363°$	Debye $\Theta = 453°$
32·0°	0·15	0·15	0·09	0·16
33·1	0·18	0·18	0·11	0·18
35·2	0·24	0·23	0·16	0·21
38·1	0·29	0·31	0·23	0·27
42·0	0·33	0·42	0·35	0·36
46·9	0 52	0·59	0·49	0·51
66·8	1·21	1·31	1·43	1·23
68·9	1·48	1·40	1·52	1·32
85·3	1·94	1·93	2·19	1·99
87·1	2·04	1·98	2·24	2·06
88·9	2·22	2·03	2·31	2·14
94·6	2·36	2·19	2·48	2·36

Debye'schen[2] T^3-Gesetz. Die Tabelle VI bringt die beobachteten Atomwärmen C des Eisens, ferner die berechneten Werte derselben, wie sie sich nach den Formeln 37 *b)* und 37 *c)* sowie nach Debye

Fig. 5.



(berechnet von Günther) ergeben. Fig. 5 stellt die Verhältnisse graphisch dar. Es zeigt sich hier noch stärker als im früheren Fall, daß die Formel 37 *b)* besser ist als 37 *c)*. Sieht man von den zwei letzten Daten bei 88·9° und 94·6° ab, bei welchen Temperaturen die verwendete Näherung offenbar nicht

---

[1] P. Günther, Untersuchungen über die spez. Wärme bei tiefen Temperaturen, Ann. d. Phys. 51, p. 828. 1916

[2] P. Debye, l. c., p. 800.

mehr ausreicht, so findet man, daß 37*b)* die Tatsachen recht gut wiedergibt, nicht wesentlich schlechter als die Debye'sche Formel. Im ganzen gewinnt man, zumal bei Betrachtung der Fig. 4, den Eindruck, als ob die Wahrheit gleichsam zwischen den Formeln 37*b)* und 37*c)*, aber mehr auf Seiten der ersten läge. Das würde heißen, daß die Definition 8*b)* für α_λ derjenigen von 8*c)* zwar vorzuziehen ist, daß aber die richtige Definition vielleicht weder die eine noch die andere ist, sondern zwischen beiden liegt, also etwa die Form hat

$$\alpha_\lambda = \frac{\varkappa\lambda^{2/r} + (\lambda+1)^{2/r}}{2} \qquad 8d)$$

wo die Zahl $\varkappa$ die Bedingung

$$0 \leqq \varkappa < 1$$

zu erfüllen hat. Erinnern wir uns, in der Tat, an die Bedeutung der drei Definitionen von α_λ: wir konnten für die »Energie einer Zelle« entweder einen der Extremwerte der Energie, wie sie an den Wänden der Zelle vorhanden sind, setzen (8*a* oder 8*b*), oder einen Mittelwert derselben wählen; daß aber dieser gerade das arithmetische Mittel der äußersten in der Zelle vorkommenden Energiewerte sein sollte (8*c*), war natürlich nicht notwendig, wenn auch dieser Ansatz sich zunächst als der einfachste bietet.

Eine eingehendere Behandlung des Problems der spezifischen Wärmen nach den hier dargelegten Methoden dürfte aussichtsreich sein. Denn so viel zeigt schon das hier Vorgebrachte, daß die den Gesetzen der statistischen Mechanik gemäße Behandlungsweise der Frage trotz der Einfachheit der Voraussetzungen — Annahme einer einzigen Atomschwingung wie bei Einstein — sehr gute Resultate gibt. Ein noch besserer Anschluß an die Erfahrung könnte, wenn nötig — abgesehen natürlich von der Möglichkeit und Notwendigkeit, eine größere Zahl von Gliedern der Reihe zu berechnen und dadurch eine bessere Näherung zu erhalten — auf einem der beiden folgenden Wege erzielt werden: Entweder könnte man, wie eben bemerkt, anstatt der durch 8*b)* oder 8*c)* gegebenen Definition nach 8*d)* ein richtiges $\varkappa$ suchen, welches die wirklichen Verhältnisse am besten wiedergibt; oder man könnte versuchen, als Element der Gesamtheit nicht ein einfach schwingendes, sondern ein komplizierteres Atom mit mehreren Eigenschwingungen zugrunde zu legen.

Zusammenfassung.

Der erste Teil dieser Arbeit beschäftigt sich mit der Statistik der Verteilung von N Punkten in einem abgegrenzten Teile des r-dimensionalen Raumes. Im besonderen wird der Fall einer genaueren Untersuchung unterzogen, daß die Verteilung einer Nebenbedindung von der Form der Gleichung II zu genügen hat, wobei die in dieser Bedingung auftretende wichtige Funktion **H** alsbald einer positiv definiten quadratischen Form der r Raumkoordinaten gleichgesetzt wird (Gleichung II*a*). Für diesen Fall wird die statistisch häufigste Verteilung gerechnet (Gleichung 9, 10, 11); ferner wird gezeigt, daß der statistische Mittelwert eines jeden Gliedes der quadratischen Form denselben Wert hat (§§ 7, 8).

Im zweiten Teile werden die N Punkte des ersten Teiles mit den Phasenpunkten von N physikalischen Systemen identifiziert. Nachdem festgestellt ist, daß die statistischen Untersuchungen des ersten Teiles zwar auf eine Raum-, aber nicht auf eine Zeitgesamtheit angewendet werden können (§ 10), wird als Konsequenz des jenen Untersuchungen zugrunde liegenden Unabhängigkeitspostulats gefunden, daß die physikalischen Systeme »quasi-regulär« sein müssen (§§ 11, 12), und daß die für die statistische Untersuchung zu konstruierende Zelleneinteilung des Phasenraumes durch Flächen konstanter Energie herzustellen ist (§ 13). Es wird hierauf die Bedeutung des Theorems vom Minimalvolum der Zelle auseinandergesetzt und die Planck'sche Quantentheorie rein statistisch zu deuten versucht (§ 14). Im § 15 wird die Fundamentalhypothese aufgestellt, welche die statistischen

Verteilungsgesetze auf die Gesetzmäßigkeiten der Thermodynamik abzubilden gestattet; es ist die von der Existenz »ergozonaler Gesamtheiten«, als Ersatz für die Ergodenhypothese der klassischen statistischen Mechanik. Auf Grund dieser Hypothese wird die Entropie im thermodynamischen Gleichgewicht statistisch definiert und hierauf auch der Ausdruck für die Temperatur gewonnen (§ 16). Als unmittelbare Anwendung des rein formalen, im § 8 des ersten Teiles erhaltenen Satzes folgt dann der Satz von der Gleichverteilung der Energie in seiner wahren Form (§ 17). Hingegen wird der berühmte Äquipartitionssatz der klassischen statistischen Mechanik im § 18 als bloß angenähert gültig aufgewiesen und seine Anwendung durch Rayleigh und Jeans als unzulässig erkannt.

Der dritte Teil bringt eine Anwendung der Prinzipien auf zwei spezielle Probleme. In engem Anschlusse an die Planck'sche Untersuchung, jedoch ohne Zuhilfenahme der Quantenhypothese wird das Gesetz der Energieverteilung im Spektrum des schwarzen Körpers abgeleitet, wobei die zugrunde liegenden einschränkenden Voraussetzungen klar hervortreten (§§ 19, 20). Sodann wird auf Grund der einfachen Einstein'schen Annahme — Atome mit einer einzigen Eigenschwingung — eine Formel für die spezifische Wärme fester Körper als Funktion der Temperatur abgeleitet, welche von der Einstein'schen Formel wesentlich verschieden ist (§ 21), und aus ihr je ein Näherungsausdruck für hohe und tiefe Temperaturen gerechnet (§§ 22, 23). Der Vergleich mit der Erfahrung (§ 24) zeigt gute Übereinstimmung, obwohl nur die ersten drei Glieder des Ausdrucks für die Atomwärme verwendet wurden.

Brünn, im Jänner 1918.

PHYSIK DER KONTINUIERLICHEN MEDIEN

VON

G. JAUMANN

K. M. AKAD.

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 24. JÄNNER 1918

Einleitung.

Die folgende Mitteilung bildet einen Abschluß und auch eine kurze Zusammenfassung von 25jährigen auf die Ausbildung einer umfassenden Physik der kontinuierlichen Medien gerichteten Arbeiten. So möge jene Richtung der theoretischen Physik bezeichnet werden, welche die sämtlichen physikalischen und chemischen Erscheinungen durch Nahewirkungs- und Differentialgesetze darzustellen sich zur Aufgabe macht, ohne Hypothesen über die korpuskulare Struktur der Materie oder gar Elektronenhypothesen heranzuziehen.

Man kann Leonhard Euler (1755) als den Begründer dieser exakten Richtung ansehen, da dieser die Bewegungserscheinungen in idealen Flüssigkeiten und Gasen durch Differential- und Nahewirkungsgesetze darstellte. Fourier (1820) fand das Differentialgesetz der Wärmeleitung, Cauchy (1827) stellte das Differentialgesetz der Bewegung idealer elastischer Medien auf. De Saint-Venant (1827) und Stokes (1845) bildeten das Differentialgesetz der Bewegung zäher Flüssigkeiten und Gase aus. Maxwell (1865) fand auf Grund von Faraday's Auffassung der elektromagnetischen Erscheinungen und des Lichtes die Differentialgesetze derselben. Hertz (1887) sprach zuerst aus, daß die Aufstellung der Differential- und Nahewirkungsgesetze das höchste bis jetzt erkennbare Ziel der theoretischen Forschung bildet, doch schien es damals weit außerhalb alles Erreichbaren zu liegen, alle physikalischen und chemischen Erscheinungen konsequent in dieser Weise darzustellen. Dieses Ziel würde sich nicht ändern, sondern nur schwerer erreichbar erscheinen, wenn nachgewiesen werden könnte, daß die Materie (stets oder in manchen Fällen) eine atomistische Struktur hat, vorausgesetzt, daß es keinen absolut leeren Raum gibt. Dann ist auch ein aus Atomen bestehendes Medium ein kontinuierliches (inhomogenes) Medium und das Verhalten der Atome könnte (ganz ebenso wie jenes größerer Körper) nur dann als in befriedigender Weise dargestellt angesehen werden, wenn man die Differential- und Nahewirkungsgesetze angibt, welche das Verhalten dieser (also vielleicht aller) inhomogenen Medien beherrschen. Würde man aber einen absolut leeren Raum zwischen den Atomen oder anderen Korpuskeln annehmen, so würde sich das Ziel der theoretischen Forschung gänzlich verschieben. In einem absolut leeren Raume können keine Differentialgesetze gelten, weil demselben keine variablen

Eigenschaften und Zustände zugeschrieben werden können, derselbe kann keine Wirkungen als Nahewirkungen fortpflanzen. Pflanzt sich undulatorisches Licht durch einen Raum fort, so ist derselbe kein leerer, eigenschaftsloser Raum, sondern ein (höchstens sehr dünnes, eventuell als imponderabler Äther gedachtes aber) kontinuierliches Medium. Damit die reinen Korpuskulartheorien überhaupt konsequent zu Ende geführt werden könnten, wäre die Annahme eines absolut leeren Raumes zwischen den Korpuskeln und damit die Rückkehr zu der Korpuskulartheorie des Lichtes notwendig. Dafür ist aber trotz der kühnen Bemühungen Einstein's die Zeit ein für allemal vorbei. Über das entferntere Ziel der theoretischen Physik kann also kaum mehr eine Meinungsverschiedenheit bestehen, es bleibt nur die näherliegende experimentelle Frage, in welchen Fällen die Materie tatsächlich korpuskulare Struktur hat. Da sich gröbere korpuskulare Strukturen (Ausscheidungen von Kristallpulvern und amorphe Niederschläge mit gleichmäßigem Korn, Nebel, Emulsionen etc.) oft bilden, ist es gewiß nicht ausgeschlossen, daß noch viel feinere gesetzmäßige korpuskulare Strukturen manchmal oder oft vorkommen. Es wird die Brown'sche Bewegung mikroskopisch kleiner Körper, welche in einer Flüssigkeit oder einem Gase suspendiert sind, als Beweis für die Molekularbewegungen in diesem Medium angeführt. Ich halte die Brownsche Bewegung für eine einfache Kapillarerscheinung, da die Oberflächenspannung im Verhältnis zu der Masse der Partikel ungemein groß ist und jede kleine Unregelmäßigkeit (Einseitigkeit) derselben daher große Beschleunigungen der Partikel bewirken muß. Die schönen Kristallröntgenogramme beweisen die undulatorische Natur der Röntgenstrahlen, und lassen eine periodische (sinusgitterartige) Struktur der kontinuierlichen kristallischen Medien erkennen. Es handelt sich dabei meiner Ansicht nach nur um Reflexion von Röntgenstrahlen an Systemen von ultramikroskopischen Spaltflächen (Blätterbrüchen), beziehungsweise um selektive Reflexion derselben an Systemen von Kristallamellen gesetzmäßiger Dicke, eine Erscheinung, welche vollkommen analog dem Labradorisieren mancher Kristallflächen im gewöhnlichen Lichte ist. Die atomistischen und Elektronentheorien haben auch indirekt als Arbeitshypothesen zu dankenswerten, hie und da sogar zu schlagenden Erfolgen geführt. Es ist aber, wie E. Mach gelehrt hat, gänzlich ungerechtfertigt, von indirekten Erfolgen auf den Wahrheitsgehalt dieser Arbeitshypothesen zu schließen. Andrerseits halte ich aber auch die von E. Mach empfohlene streng phänomenalistische Naturbeschreibung für unfruchtbar und insofern für ebenso schädlich als die übertriebenen Korpuskalartheorien, als auch der Phänomenalismus in letzter Folge dazu führt, an allem, auch an den Grunderkenntnissen der gesunden Vernunft, zu zweifeln, was nicht Aufgabe der Naturforschung sein dürfte. Daher war ich konsequent bemüht, die gute Mitte zwischen hinreichend phänomenalistischer Naturbeschreibung und der Annahme anschaulicher Ursachen der Naturerscheinungen zu halten. Den richtigen Punkt, an welchem die exakte theoretische Forschung nach Maxwell einzusetzen hatte: die Undulationstheorie der Kathodenstrahlen als longitudinaler elektrischer Strahlen, berührten schon Helmholtz und Hertz[1] flüchtig, ich wurde (1892) durch meine experimentellen Arbeiten zu dem gleichen, damals naheliegenden aber schwer verwertbaren Gedanken geführt (siehe hierüber weiter unten § 1). Hierbei erkannte ich (1895), daß die physikalischen Differentialgesetze in bezug auf die unabhängigen Variablen (in bezug auf die Differentialoperatoren $\partial/\partial t$ und ∇) sämtlich linear sein dürften, so daß es als eines der vornehmsten heuristischen Mittel der reinen theoretischen Forschung erscheint, phänomenalistisch verifizierte Differentialgetze höherer Ordnung (zum Beispiel das Fouriersche Wärmeleitungsgesetz) in Differentialgesetze erster Ordnung zu zerlegen, was zur Entdeckung neuer physikalischer Variablen führt. Ein weiterer heuristisch wirksamer Schritt, den ich erst zwölf Jahre später (1905) machte, beruht auf der Erkenntnis der dyadischen Natur dieser neuen physikalischen Variablen, deren Veränderungen die elektromagnetischen Schwingungen in allen Strahlen begleiten, das sind also periodische kristallische Änderungen aller (auch isotroper) durchleuchteten Medien. Hierdurch

[1] Vergl. Jaumann, Ann. d. Phys. 57 (1896), p. 152.

ergab sich die reine Theorie der höheren optischen Erscheinungen (Dispersion, Absorption des Lichtes in Nichtleitern, magnetische Drehung der Polarisationsebene, elektrische Doppelbrechung, optische Aktivität etc.), welche ich in einer Abhandlung[1] der Akademie vorlegte, die diese drei Jahre später durch einen Preis auszeichnete. Mit den an die elektromagnetischen Differentialgesetze angeschlossenen dyadischen Differentialgesetzen war die richtige Form gefunden, in welcher ein sehr großer Erscheinungskomplex, insbesondere auch die Vorgänge in rasch deformierten Medien (Zähigkeit, Reibungselektrisierung, Elastizität, Piezoelektrisierung) dem Bereiche der reinen Theorie der kontinuierlichen Medien angeschlossen werden können. Besonders charakteristisch für meine Theorie ist die Vereinfachung der elektromagnetischen Differentialgesetze für bewegte Medien, welche sich hierbei von Anfang an ergab. Diese haben in beliebig bewegten, rasch deformierten Medien dieselbe Form, wie in terrestrisch ruhenden (starren) Medien, der Einfluß der Deformationsgeschwindigkeit zeigt sich nur darin, daß die Leitfähigkeiten rasch deformierter Medien akzidentielle dyadische Veränderungen zeigen.

Von großer Wirkung war die Auffindung der Differentialform des Energieprinzips[2] und der Methoden, nach welchen dasselbe bei der Durchbildung des Systems der Differentialgesetze heuristisch verwertet werden kann und muß. Einen analogen, jedoch kleineren heuristischen Erfolg hatte schließlich die Aufstellung der Differentialform des Entropieprinzips. Die Durchbildung der Differentialgesetze der Wärmeerscheinungen und der chemischen Erscheinungen[3] erforderte dann keine besonders eigenartigen Leistungen mehr. Letztere gelang dadurch, daß die Dichten der in einem Verbindungsprodukte enthaltenen gebundenen Elemente als voneinander unabhängige physikalische Variable aufgefaßt werden, deren Fluxionen durch besondere Differentialgesetze bestimmt werden. Damit ergab sich die Erklärung der Zusammensetzung der Verbindungen im Verhältnis der Äquivalentgewichte ganz von selbst, welche Tatsache noch Hertz für einen Beweis der atomistischen Struktur der Materie hielt. Den Abschluß meiner theoretischen Arbeiten bildet die Nahewirkungstheorie der Gravitation[4], welche ich mit gereiftem Können schuf und aus welcher sich die Erklärung der energetischen Stabilität der Sonnenstrahlung und der dynamischen Stabilität des Planetensystems ergab.

Seither wurde diese zusammenfassende Darstellung der physikalischen und chemischen Erscheinungen durch ein geschlossenes System von Differentialgesetzen durch eigene sowie durch die selbständigen Untersuchungen von E. Lohr in einzelnen Zügen vervollkommt. Es sind hier hervorzuheben: Die Lösung des Problems der Grenzbedingungen für die Reflexion und Brechung an dispergierenden und absorbierenden Medien durch Lohr[5], ferner der von ihm erzielte Anschluß der Cohn'schen Theorie der elektromagnetischen Relativitätsphänomene an meine Theorie[6], besonders aber die von Lohr[7] erzielte wesentliche Verbesserung in der Verwertung des Planck'schen Entropiebegriffs zur Abstimmung des geschlossenen Gleichungssystems meiner Theorie auf die Differentialform des Entropieprinzips. Hierbei ist es Lohr auch gelungen, meine Nahewirkungstheorie der Elastizität mit der klassischen Elastizitätstheorie in exakte Übereinstimmung zu bringen. Die mehrjährigen Arbeiten, deren Resultate ich hiermit der Akademie vorlege, haben schließlich folgende Fortschritte ergeben: Die vollkommene Durchbildung der Methoden zur heuristischen Verwertung der Differentialform des Entropieprinzips, mit welcher jetzt das gesamte

---

1 G. Jaumann, Elektromagnetische Theorie, Sitzber. dieser Akademie, 117 (1908).

2 Jaumann, Geschlossenes System physikalischer und chemischer Differentialgesetze, diese Sitzber. 120 (1911), p. 398.

3 Ebenda, p. 462 ff.

4 Jaumann, Theorie der Gravitation, diese Sitzber. 121 (1912).

5 E. Lohr, Das Problem der Grenzbedingungen etc., diese Sitzber. I. 120 (1911), II, 121 (1912).

6 E. Lohr, Elektromagn. Theorie f. bewegte Medien, diese Sitzber. 122 (1913).

7 E. Lohr, Entropieprinzip und geschlossenes Gleichungssystem, Denkschr. d. Wien. Akad. (1916).

geschlossene System von Differentialgesetzen in exakter und leicht übersichtlicher Übereinstimmung steht, ferner eine recht vollständige Theorie der Wärmestrahlung und Lichtemission kontinuierlicher Medien, eine wesentliche Vervollständigung der Theorie der Kathodenstrahlen, der höheren optischen Erscheinungen und der elektromagnetischen Vorgänge in bewegten Medien durch die Annahme einer unbeschränkten oder doch größeren Anzahl dyadischer stofflicher Variablen, eine Theorie der Ionisierung der Gase und kleinere Fortschritte in allen Teilen der Theorie.

I. Theorie der elektrischen Longitudinalstrahlen.

1. Grundlagen der Undulationstheorie der Kathodenstrahlen.

1. Die Kathodenstrahlen sind die merkwürdigste von allen jenen Strahlungserscheinungen, welche die Maxwell'sche Theorie nicht darstellt, und es handelte sich (1892) darum, eine derartige Ergänzung der Maxwell'schen Differentialgesetze zu finden, daß dieselben eine Undulationstheorie der Kathodenstrahlen ergeben, welche die überaus charakteristischen Eigenschaften dieser Strahlen richtig darstellt. Ich war in dreifacher Beziehung zur Lösung dieses Problems vorbereitet: Zunächst hatte ich den Einfluß rascher elektrischer Schwingungen an den Elektrodenoberflächen auf die elektrische Entladung nachgewiesen[1], der unzweifelhaft ist, obgleich derselbe noch heute (nach 30 Jahren) nicht beachtet wird und von welchem die von Hertz vorher entdeckte entladungsfördernde Wirkung des Lichtes ein spezieller Fall ist. Rasche elektrische Schwingungen in der Kathodennormalen (Vorschaltung einer Funkenstrecke) verstärken aber auch in hohem Maße die Aussendung der Kathodenstrahlen, wodurch die Vorstellung nahegelegt wird, daß diese longitudinale elektrische Wellen sind. Sodann hat E. Mach's Idee einer chemischen Lichttheorie[2] auf mich einen nachhaltigen Eindruck gemacht und ich sprach (1895) die Vermutung aus, daß das besondere Verhalten der verdünnten Gase im elektrischen Felde und das Auftreten der Kathodenstrahlen davon herrührt, daß während rascher elektrischer Schwingungen ihr stofflicher Zustand, und zwar ihr dielektrischer Koeffizient ε veränderlich ist, so daß eine skalare Welle dieser Variablen ε die longitudinale elektrische Welle begleitet. Endlich regte die einfache Newton'sche Theorie des Schalles mich frühzeitig zu der Untersuchung aller Formen von partiellen Differentialgleichungen an, welche als Integrale Wellen ergeben, und dabei fand ich auch die bis dahin übersehenen Differentialgleichungen erster Ordnung, welche Wellen mit einseitiger Fortpflanzungsrichtung ergaben, die durch einen dem Medium eingeprägten Vektor, bei Kathodenstrahlen also durch die elektrostatische Feldstärke $\mathfrak{e}_0$ bestimmt wird. Die Maxwell'sche Gleichung für ruhende Medien lautet, wenn ε veränderlich ist, mit hinreichender Annäherung

$$\text{I)} \qquad \varepsilon_0 \frac{\partial \mathfrak{e}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{\varepsilon}}{\partial t} \mathfrak{e}_0 = c_0 \operatorname{rot} \mathfrak{m}.$$

Hierin ist $\bar{\varepsilon} = \varepsilon - \varepsilon_0$ die Abweichung der dielektrischen Variablen ε von ihrem Ruhewerte ε_0. Es handelte sich nun um die Auffindung des Differentialgesetzes, welches die Fluxion von $\bar{\varepsilon}$ bestimmt, und zwar durch eine räumliche Derivation der elektrischen Feldstärke $\mathfrak{e}$, damit aus demselben und aus I) (für eine wirbelfreie Verteilung des magnetischen Feldes $\mathfrak{m}$) überhaupt eine wellenartige räumliche Fortpflanzung von $\bar{\varepsilon}$ sich ergibt. Das neue Differentialgesetz muß daher die Form haben[3]:

$$\text{III)} \qquad \frac{\partial \bar{\varepsilon}}{\partial t} + a \operatorname{div} \mathfrak{e} = 0,$$

[1] Jaumann, Einfluß rascher Potentialänderungen auf den Entladungsvorgang, diese Sitzber. 97 (1888), p. 765, und Inkonstanz des Funkenpotentials, diese Sitzber. 104 (1895).

[2] E. Mach, Beiträge zur Analyse der Sinnesempfindungen, Jena (1886), p. 42.

[3] G. Jaumann, Longitudinales Licht, diese Sitzber. 104 (1895), p. 747.

worin a eine Materialkonstante ist. Wir betrachten die Lösung dieser Differentialgesetze:

1) $$\operatorname{div} \mathfrak{e} = f.\varphi\ (\gamma - t).$$

Die solenoidal verteilten Anteile von $\mathfrak{e}$ und $\mathfrak{m}$ brauchen wir nicht zu berücksichtigen. Hierin sind f sowohl als γ Funktionen des Ortes, welchen gewisse Bedingungen auferlegt werden müssen, die wir sogleich feststellen werden. φ ist eine beliebige Funktion des Argumentes $(\gamma - t)$. Dieses Integral stellt eine Welle der elektrischen Divergenz dar. Die im allgemeinen gekrümmten Wellenflächen haben die Gleichung: $\gamma = \text{const.}$ Die reziproke Fortpflanzungsgeschwindigkeit dieser Welle hat den vektorischen Wert $\nabla \gamma$. Nach III) ist

$$\frac{\partial \bar{\varepsilon}}{\partial t} = -\frac{1}{a} f.\varphi \text{ und } \nabla \frac{\partial \bar{\varepsilon}}{\partial t} = -\frac{\varphi}{a} \nabla f - \frac{\varphi'}{a} f \nabla \gamma.$$

Nimmt man von I) die Divergenz, so folgt (für $\varepsilon_0 = 1$)

$$0 = \frac{\partial}{\partial t} \operatorname{div} \mathfrak{e} + \mathfrak{e}_0 . \nabla \frac{\partial \bar{\varepsilon}}{\partial t} = -f.\varphi' - \frac{\varphi}{a} \mathfrak{e}_0 . \nabla f - \frac{f\varphi'}{a} \mathfrak{e}_0 . \nabla \gamma.$$

Trennt man die Glieder, welche φ, beziehungsweise φ' enthalten, so ergeben sich die Bedingungen:

2) $$\mathfrak{e}_0 . \nabla f = 0 \quad \text{und} \quad \mathfrak{e}_0 . \nabla \gamma = -a.$$

Die Wellennormale $\nabla \gamma$ kann daher gegen die elektrostatische Feldstärke $\mathfrak{e}_0$ nur einen stumpfen Winkel bilden. Diese Wellen haben also die für die Kathodenstrahlen charakteristische einseitige Fortpflanzungsrichtung im elektrischen Felde, von welcher diese Strahlen den Namen haben. Ferner darf nach 2) die Amplitude f dieser Wellen sich nicht in der Richtung der elektrostatischen Feldstärke ändern, wohl aber senkrecht hierzu. Es lassen sich daher die Kathodenstrahlen beliebig scharf begrenzen, doch muß die Mantelfläche dieser Strahlen eine elektrostatische Kraftröhre sein. Diese Strahlen folgen hiernach allen Krümmungen der elektrischen Kraftlinien.

2. H. Poincaré[1] erhob gerade dieses als Bedenken gegen die junge Theorie. Seine Rechnungsführung ist folgende: Nach den Maxwell'schen Gleichungen ist $\operatorname{div} \varepsilon \mathfrak{e} = 0$, also mit Annäherung $\varepsilon_0 \operatorname{div} \mathfrak{e} = -\mathfrak{e}_0 . \nabla \varepsilon$. Nach dem Differentialgesetze III) folgt also

$$\frac{\partial \bar{\varepsilon}}{\partial t} - \frac{a}{\varepsilon_0} \mathfrak{e}_0 . \nabla \varepsilon = 0.$$

Dieser Ausdruck hat die Form der Euler'schen totalen Fluxion von $\bar{\varepsilon}$, wenn man $-\mathfrak{e}_0\, a/\varepsilon_0$ als eine Geschwindigkeit ansieht, es bewegt sich also jeder Wert von $\bar{\varepsilon}$ mit dieser Geschwindigkeit in der Richtung der elektrostatischen Kraftlinien. Jedenfalls folgt hieraus, daß der Verlauf der Kathodenstrahlen nach meiner Theorie in starkem Maße von dem Verlaufe der elektrostatischen Kraftlinien abhängt, während Hertz[2]) kurz vorher neuerdings eingehend nachgewiesen hatte, daß die Kathodenstrahlen auch durch starke elektrostatische Kräfte nicht im geringsten abgelenkt werden können, sondern geradlinig und normal von der Kathode ausgehen. Ich habe im Gegenteil hieraus geschlossen, daß die elektrostatischen Kraftlinien in dem Rezipienten nicht von der Kathode zu der Anode, sondern geradlinig von der Kathode zu der Glaswand derselben gehen. Die Kathodenstrahlen müssen daher eine ladende Wirkung haben, und zwar die Glaswand dort, wo sie sie treffen, positiv und derartig laden, daß die Kraftlinien sich möglichst strecken. Diese Selbststreckung der Kathodenstrahlen muß aber mit dem Quadrate ihrer Amplitude abnehmen und tatsächlich gelang es mir, sehr schwache Kathodenstrahlen durch von außen genäherte positiv geladene Körper im Sinne einer Abstoßung, durch negativ geladene Körper im Sinne einer Anziehung zu krümmen. Dabei konnte die Selbststreckung der Strahlen bei gleichbleibendem ablenkenden Felde mit dem Auge

[1] H. Poincaré, Compt. rend. CXXII (1896), p. 520.

[2] Hertz, Wied. Ann. 19 (1883), p. 809.

verfolgt werden.[1] Auch elektrostatische Ablenkungen anderer Bündel des Kathodenstrahls von dem umgekehrten Sinne habe ich beobachtet. Es gelang später J. J. Thomson, welcher meine Versuche mit den schwachen Kathodenstrahlen einer Braun'schen Röhre und mit innerhalb des Vakuums angebrachten ablenkenden Elektroden wiederholte, Dauerablenkungen derselben (ohne merkliche Selbststreckung) von diesem umgekehrten Sinne zu erhalten. Ich darf mit gutem Recht die Entdeckung der elektrostatischen Ablenkbarkeit der Kathodenstrahlen für mich in Anspruch nehmen. Dieselbe stellt einen Erfolg meiner Undulationstheorie der Kathodenstrahlen dar und wird, wie weiter unten ausgeführt werden soll (vgl. §§ 28 und 30), völlig durch dieselbe erklärt. Gleichzeitig bildet das Vorzeichen der elektrostatischen Ablenkung der (divergenten) Kathodenstrahlen bei meinen ersten Versuchen einen entscheidenden und gänzlich unwiderleglichen Beweis für die Unrichtigkeit der Elektronentheorie der Kathodenstrahlen. Die Anhänger der Elektronentheorie haben sich bisher nur durch hartnäckiges Schweigen über diesen Punkt zu verteidigen versucht.

3. Die Existenz und der wichtige Einfluß der optischen Eigenschwingungen der Stoffe, welcher sich durch Fluoreszenz, selektive Emission und Absorption des Lichtes, Reflexion der Reststrahlen usw. zu erkennen gibt, wurde von Ketteler, Helmholtz, Lommel u. a. erkannt, doch hielt man dieselben für Bewegungschwingungen der Moleküle, der Atome im Molekül oder der Elektronen der Atome. Von großer heuristischer Wirksamkeit war die wesentlich neue Auffassung, daß die optischen Eigenschwingungen der Medien periodische Umsetzungen zweier skalarer Zustände des Mediums sind[2]. Bezeichnen wir diese skalaren physikalischen oder chemischen Variablen als stoffliche Variable mit $\bar{\sigma}_i$ und $\bar{\tau}_i$, so müssen ihre Fluxionen durch Differentialgesetze von folgender Form bestimmt werden:

$$\text{III}_i)\qquad e_i \frac{d\sigma_i}{dt} + c_i\bar{\sigma}_i + r_i\bar{\tau}_i = 0,$$

$$\text{IV}_i)\qquad m_i \frac{d\tau^i}{dt} + x_i\bar{\tau}_i + s_i\bar{\sigma}_i = 0,$$

worin $e_i\, m_i\, c_i\, x_i\, r_i$ und s_i Materialkonstante sind. Es ergibt sich für die Schwingungszahl p_{0i} dieser stofflichen Eigenschwingung und für die Dämpfung $\varkappa_i$ derselben:

$$3)\qquad p_{0i}^2 = -\frac{r_i s_i}{e_i m_i} - \frac{(e_i x_i - m_i c_i)^2}{4 e_i^2 m_i^2}, \qquad \text{und} \qquad 4)\qquad \varkappa_i = \tfrac{1}{2}\left(\frac{x_i}{m_i} + \frac{c_i}{e_i}\right).$$

4. Solcher Eigenschwingungen kann ein Medium in großer Zahl fähig sein, wie man an der großen Zahl der Spektrallinien, welche glühende Gase aussenden können und die sich nicht immer in Serien zusammenfassen lassen, erkennen kann. Wir wollen diese Eigenschwingungen durch den Index i voneinander unterscheiden. Es gelten also viele Paare von Differentialgesetzen von der Form $\text{III}_i\ \text{IV}_i$. Den dielektrischen und diamagnetischen Koeffizienten ε, beziehungsweise μ, habe ich in meinen früheren Mitteilungen als reale physikalische Variable, das heißt als Variable, deren Fluxionen durch besondere Differentialgesetze bestimmt werden, angesehen und angenommen, daß die stofflichen Eigenschwingungen in periodischen Umsetzungen der Variablen ε und μ ineinander bestehen. Dann hätte aber jedes Medium nur diese eine stoffliche Eigenschwingung, während die einfachsten Dispersions- und Absorptionserscheinungen das Vorhandensein sehr vieler optischer Eigenschwingungen erkennen lassen. Ich kehre daher hier wieder zu der natürlichen Annahme zurück, daß ε und μ Materialkoeffizienten sind. Alle Materialkoeffizienten sind aber nicht nur Funktionen des chemi-

[1] Jaumann, Elektrostatische Ablenkung der Kathodenstrahlen, diese Sitzber. 105 (1896), p. 301.

[2] G. Jaumann, Elektromagnetische Theorie, diese Sitzber. 117 (1908), p. 380.

schen Zustandes, der Temperatur und der Dichte des Mediums, sondern auch Funktionen sämtlicher stofflicher Variablen σ_i und τ_i. Es ist daher

5) $$\bar{\varepsilon} = \sum_i (\varepsilon_{1i}\bar{\sigma}_i + \varepsilon_{2i}\bar{\tau}_i),$$ und 6) $$\bar{\mu} = \sum_i (\mu_{1i}\bar{\sigma}_i + \mu_{2i}\bar{\tau}_i).$$

Hierin sind $\bar{\sigma}_i = \sigma_i - \sigma_{0i}$ und $\bar{\tau}_i = \tau_i - \tau_{0i}$ die (sehr kleinen) Abweichungen der stofflichen Variablen σ_i, beziehungsweise τ_i von ihren normalen Ruhewerten. Die Koeffizienten

$$\varepsilon_{1i} = \frac{\partial \varepsilon}{\partial \sigma_i}, \quad \varepsilon_{2i} = \frac{\partial \varepsilon}{\partial \tau_i}, \quad \mu_{1i} = \frac{\partial \mu}{\partial \sigma_i}, \quad \mu_{2i} = \frac{\partial \mu}{\partial \tau_i}$$

können mit hinreichender Annäherung als Materialkonstante angesehen werden, die von den stofflichen Variablen $\sigma_i \tau_i$ nicht abhängen. Diese natürliche Annahme ist aber gleichzeitig viel allgemeiner als die ursprüngliche und hieraus ergeben sich wesentliche Fortschritte in der Theorie der höheren Strahlungserscheinungen, über welche im folgenden berichtet wird.

5. Damit die aus der Undulationstheorie der Kathodenstrahlen folgende direkte Bewirkung einer Fluxion von ε durch die elektrische Divergenz, welche durch Gleichung III (§ 1) ausgesprochen wurde, auch der verallgemeinerten Theorie erhalten bleibt, müssen die Differentialgesetze III$_i$) IV$_i$) (§ 3) im allgemeinsten Falle durch folgende Glieder vervollständigt werden:

zu III$_i$) $$a_i \operatorname{div} \mathfrak{e} + a'_i \operatorname{div} \mathfrak{m}$$

zu IV$_i$) $$b_i \operatorname{div} \mathfrak{e} + b'_i \operatorname{div} \mathfrak{m}.$$

Durch die Annahme, daß auch die magnetischen Divergenzen von Einfluß sind, ist zunächst lediglich die Dualität der elektromagnetischen Erscheinungen gewahrt und die Möglichkeit magnetischer Longitudinalstrahlen (Righi'sche Strahlen?) berücksichtigt worden. Wir werden jedoch im zunächst folgenden meist die Koeffizienten a'_i und b'_i als klein ansehen.

6. Eine außerordentlich große heuristische Wirkung hatte eine vervollkommte Fassung des Energieprinzips[1], welche lautet: Aus jedem geschlossenen System von Differentialgesetzen muß sich eine Differentialgleichung von der Form:

A) $$\frac{\delta E}{\delta t} + \operatorname{div} \mathfrak{S} = 0$$

deduzieren lassen, in welcher E eine skalare und $\mathfrak{S}$ eine vektorische Funktion sämtlicher realen Variablen ist. Dann kann E die Energie pro Volumseinheit oder Energiedichte und $\mathfrak{S}$ der Energiefluß oder Energiestrom genannt werden. Die Differentialgleichung A) möge die Differentialform des Energieprinzips genannt werden. Dieselbe wird in folgender Weise deduziert: Die Differentialgesetze werden durch Multiplikation mit gewissen (skalaren, vektorischen oder anderen) Faktoren, den Energiefaktoren, skalar gemacht und addiert. Hierbei müssen die Fluxionsglieder derselben die totale Fluxion der Energie E pro Volumseinheit ergeben. Die räumlichen Derivationen derselben müssen die Divergenz des Energieflusses $\mathfrak{S}$ ergeben und außerdem das Glied $E \operatorname{div} \mathfrak{v}$, welches zur Ergänzung der totalen Fluxion von E zu der materiellen Fluxion:

$$\frac{\delta E}{\delta t} = \frac{dE}{dt} + E \operatorname{div} \mathfrak{v}$$

erforderlich ist. Die übrigen Glieder des Gleichungssystems, welche wir Verwandlungsglieder nennen wollen und welche weder eine zeitliche noch eine räumliche Derivation enthalten, müssen sich nach Multiplikation mit den Energiefaktoren in der Summe aufheben.

---

[1] G. Jaumann, diese Sitzber. 120 (1911), p. 398.

7. Die Energiefaktoren der stofflichen Differentialgesetze III_i IV_i sind in erster Annäherung die Variablen σ_i, beziehungsweise τ_i selbst. Hieraus folgt, daß die stoffliche Energie E_2 den Wert

7) $E_2 = \sum_i (\frac{1}{2} e_i \sigma_i^2 + \frac{1}{2} m_i \tau_i^2)$ hat, und daß der Wert: 8) $Q = \sum_i (c_i \sigma_i^2 + x_i \tau_i^2 + (r_i + s_i) \sigma_i \tau_i)$

die Wärmeproduktion pro Zeit- und Volumseinheit darstellt, also mit umgekehrten Vorzeichen in der Wärmegleichung V_s) (siehe w. unten § 123) auftreten muß. Die Energiefaktoren $\mathfrak{e}$•, beziehungsweise $\mathfrak{m}$• der Maxwell'schen Differentialgesetze hat schon Poynting angegeben und damit das Vorbild zu meiner allgemeineren Fassung des Energieprinzips gegeben. Da aber nach meiner Theorie ε und μ variabel sind, müssen die Fluxionsglieder der elektromagnetischen Differentialgesetze I und II folgende Form erhalten:

von I) $\varepsilon \frac{d\mathfrak{e}}{dt} + \frac{1}{2} \frac{d\varepsilon}{dt} \mathfrak{e}$ und von II) $\mu \frac{d\mathfrak{m}}{dt} + \frac{1}{2} \frac{d\mu}{dt} \mathfrak{m}$.

Ferner müssen die von den elektromagnetischen räumlichen Derivationen (§ 5) der stofflichen Differentialgesetze an die Energiegleichung A) abgegebenen Beträge

$$\sum_i ((a_i \sigma_i + b_i \tau_i) \operatorname{div} \mathfrak{e} + (a_i' \sigma_i + b_i' \tau_i) \operatorname{div} \mathfrak{m})$$

durch die aus den elektromagnetischen Differentialgesetzen herstammenden Energiewerte

$$\sum_i (\mathfrak{e} . \nabla (a_i \sigma_i + b_i \tau_i) + \mathfrak{m} . \nabla (a_i' \sigma_i + b_i' \tau_i))$$

zu der Divergenz des neuen Energieflusses:

9) $$\mathfrak{s}_2 = \sum_i ((a_i \sigma_i + b_i \tau_i) \mathfrak{e} + (a_i' \sigma_i + b_i' \tau_i) \mathfrak{m})$$

und deshalb diese Differentialgesetze durch folgende Glieder ergänzt werden:

zu I) $\sum_i \nabla (a_i \sigma_i + b_i \tau_i)$ und zu II) $\sum_i \nabla (a_i' \sigma_i + b_i' \tau_i)$

Dieselben stellen elektrische, beziehungsweise magnetische Ströme dar, welche man stoffliche oder chemische Ströme nennen kann. Bezeichnet γ_0 die elektrische Leitfähigkeit, so stellt

10) $$\mathfrak{e}' = \sum_i \frac{1}{\gamma_0} \nabla (a_i \sigma_i + b_i \tau_i)$$

eine elektromotorische Kraft dar, welche durch die Gradienten der stofflichen Variablen bestimmt wird.

2. Fortpflanzung, Emission und elektrische Dämpfung der elektrischen Longitudinalstrahlen.

8. Wir abstrahieren hier zunächst von der natürlichen Absorption, welche die Kathodenstrahlen und andere Longitudinalstrahlen selbst in verdünnten Gasen bei Abwesenheit eines elektrostatischen Feldes erfahren, indem wir zur Vereinfachung die Absorptionskonstanten der Differentialgesetze $III_i IV_i$ gleich Null setzen $c_i = x_i = 0$. Ferner vernachlässigen wir zunächst die Glieder des elektrischen Differentialgesetzes $(\varepsilon - \varepsilon_0)\ \partial \mathfrak{e}/\partial t$ und $(\mathfrak{e} - \mathfrak{e}_0)\ \partial \varepsilon / \partial t$ sowie die analogen magnetischen

Glieder, weil dieselben von zweiter Ordnung klein sind, wenn die Amplituden der betrachteten Strahlungen klein sind. Hiedurch gewinnt das System der Differentialgesetze die einfache Form:

I) $$\varepsilon_0 \frac{\partial \mathfrak{e}}{\partial t} + \tfrac{1}{2}\, \mathfrak{e}_0 \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \nabla \sum_i (a_i\, \bar{\sigma}_i + b_i\, \bar{\tau}_i) = c_0 \operatorname{rot} \mathfrak{m}$$

II) $$\mu_0 \frac{\partial \mathfrak{m}}{\partial t} + \tfrac{1}{2}\, \mathfrak{m}_0 \frac{\partial \mu}{\partial t} = -c_0 \operatorname{rot} \mathfrak{e}$$

III$_i$) $$e_i \frac{\partial \bar{\sigma}_i}{\partial t} + r_i\, \bar{\tau}_i + a_i \operatorname{div} \mathfrak{e} = 0$$

IV$_i$) $$m_i \frac{\partial \bar{\tau}_i}{\partial t} + s_i\, \bar{\sigma}_i + b_i \operatorname{div} \mathfrak{e} = 0.$$

Für Transversalwellen ($\operatorname{div} \mathfrak{e} = 0$) reduziert sich dieses Gleichungssystem auf die unveränderten Maxwell'schen Gleichungen. Die Lichtfortpflanzung in verdünnten Gasen zeigt hienach keinerlei Besonderheiten.

9. Die Longitudinalwellen sind durch die Welle der elektrischen Divergenzen, welche sie enthalten, charakterisiert, deren Amplitude wir zunächst der einfacheren Schreibweise wegen gleich 1 setzen. Wir gehen also von dem komplexen Integrale aus:

11) $$\operatorname{div} \mathfrak{e} = e^{i\varphi}, \text{ worin } \varphi = \mathfrak{q}\cdot\mathfrak{r} - pt \text{ und } \mathfrak{q} = \mathfrak{q}_1 + i\mathfrak{q}_2.$$

Hierin ist $\mathfrak{r}$ der Ortsvektor, t die Zeit, p die reelle Frequenz (Schwingungszahl) der Welle. Die reellen Vektoren $\mathfrak{q}_1$, beziehungsweise $\mathfrak{q}_2$ sollen die Hemmung, beziehungsweise Dämpfung der Welle genannt werden. i bedeutet als Faktor die imaginäre Einheit (nicht zu verwechseln mit dem Index i, den wir im folgenden meist nicht anschreiben werden). Ferner ist

12) $$\bar{\sigma} = \sigma' e^{i\varphi} \text{ worin } \sigma' = \sigma_1 + i\sigma_2 \text{ und } \bar{\tau} = \tau' e^{i\varphi} \text{ worin } \tau' = \tau_1 + i\tau_2.$$

Die σ'_i und τ'_i sind die konstanten komplexen Amplituden, die σ_{1i}, σ_{2i}, beziehungsweise τ_{1i}, τ_{2i} sind die reellen Amplituden zweier um eine Viertelwellenlänge gegeneinander verschobenen Wellen dieser Variablen. Man erhält die Fluxionen dieser Variablen, indem man den Operator $\partial/\partial t$ durch $-ip$, und die räumlichen Derivationen, indem man den Operator ∇ durch $i\mathfrak{q}$ ersetzt. Die Gleichungspaare III$_i$ IV$_i$ ergeben also die Konstantenbedingungen:

III$_c$) $$-ipe\sigma' + r\tau' + a = 0$$

IV$_c$) $$-ipm\tau' + s\sigma' + b = 0.$$

Hieraus folgen die Werte der Amplituden σ'_i und τ'_i

13) $$\sigma' = \frac{\frac{br}{me} + i\frac{a}{e}p}{p_0^2 - p^2}, \qquad \tau' = \frac{\frac{as}{em} + i\frac{b}{m}p}{p_0^2 - p^2}, \quad \text{worin } 14)\ p_{0i}^2 = -\frac{r_i s_i}{e_i m_i}.$$

Hierin bedeuten die p_{0i} die reellen optischen Eigenschwingungszahlen. Bildet man die Divergenz des elektrischen Differentialgesetzes I und berücksichtigt 5) 6) (§ 4), ferner 12) 13) und 14), so ergibt sich die Konstantenbedingung:

I$_c$) $$-i\varepsilon_0 p^2 + \mathfrak{e}_0\cdot\mathfrak{q} B\,(s_0 - ip) + \mathfrak{q}^2 A\left(i - \frac{r_0}{p}\right) = 0$$

15) $$\text{worin } B = \frac{1}{2} p^2 \sum_i \frac{\varepsilon_1 \frac{a}{e} + \varepsilon_2 \frac{b}{m}}{p^2 - p_0^2}, \quad 15\,a)\ s_0 B = -\frac{1}{2} p^2 \sum_i \frac{\varepsilon_1 \frac{br}{me} + \varepsilon_2 \frac{as}{em}}{p^2 - p_0^2}$$

$$A = p^2 \sum_i \frac{\frac{a^2}{e} + \frac{b^2}{m}}{p^2 - p_0^2}, \quad r_0 A = -p^2 \sum_i \frac{\frac{ab}{em}(r+s)}{p^2 - p_0^2}.$$

Wir nehmen zur Vereinfachung an, daß $a_i b_i = 0$ oder $r_i + s_i = 0$, also jedenfalls $r_0 = 0$ ist. Ferner nehmen wir an, daß die Dämpfungsrichtung der Longitudinalwelle mit ihrer Fortpflanzungsrichtung zusammenfällt, indem wir setzen: $\mathfrak{q}_1 = p\,\mathfrak{n}$ und $\mathfrak{q}_2 = \varkappa p\,\mathfrak{n}$. Hierin ist $\mathfrak{n}$ die reziproke Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle, $\varkappa$ die Dämpfungskonstante derselben. Die Amplitude der Welle ändert sich in der Fortpflanzungsrichtung pro Wellenlänge im Verhältnis $1 : e^{-2\pi\varkappa}$. Trennt man nun den reellen und imaginären Teil der Konstantenbedingung I_c), so erhält man zwei Gleichungen zur Bestimmung von n und $\varkappa$, nämlich:

16) $$B e_0 n \left(\frac{s_0}{p} + \varkappa\right) - 2 n^2 \varkappa A = 0$$

17) $$-\varepsilon_0 + B e_0 n \left(\varkappa \frac{s_0}{p} - 1\right) + n^2 (1 - \varkappa^2) A = 0.$$

Hierin ist e_0 die Größe jener Komponente der elektrostatischen Feldstärke, welche in die Wellennormale $\mathfrak{n}$ fällt.

10. Führt man die neue Unbekannte ein $y = \frac{A}{B} \frac{n}{e_0} - \frac{1}{2}$, so daß

18) $$\frac{1}{n} = \frac{A}{B e_0} \frac{1}{y + \frac{1}{2}}, \quad \text{so ist nach 16)}$$

19) $$\varkappa = \frac{s_0}{2py} \quad \text{und 17) nimmt die reduzierte Form an:}$$

$$y^4 - 2\xi y^2 - \frac{s_0^2}{16p^2} = 0,$$

worin $$\xi = \frac{\varepsilon_0 A}{2 B^2 e_0^2} + \frac{1}{8}\left(1 - \frac{s_0^2}{p^2}\right).$$ Man erhält also schließlich:

20) $$y = \pm \sqrt{\xi + \sqrt{\xi^2 + \frac{s_0^2}{16p^2}}}$$

und damit nach 18) und 19) die Fortpflanzungsgeschwindigkeit $1/n$ und die Dämpfung $\varkappa$ der Longitudinalwellen. Es können, des Doppelvorzeichens von y wegen, bei gegebenen Wellenebenen und gegebener Schwingenzahl p zwei verschiedene Longitudinalwellen auftreten, welche nach 18), je nachdem $y^2 \gtreqless \frac{1}{4}$ gleiche oder entgegengesetzte Fortpflanzungsrichtung haben, welche aber jedenfalls nach 19) entgegengesetzte Dämpfung $\varkappa$ haben. Die eine dieser Wellen ist positiv gedämpft, das heißt sie wird im elektrischen Felde absorbiert. Die andere Welle ist aber negativ gedämpft, das heißt ihre Amplitude nimmt in ihrer Fortpflanzungsrichtung zu, die Welle wird fortschreitend verstärkt, während sie das elektrostatische Feld passiert, sie wird elektrisch emittiert (exzitiert). Diese beansprucht das höhere Interesse, wir werden diesen Emissionsvorgang weiter unten genau studieren.

11. Im sehr starken elektrostatischen Felde ist mit hinreichender Annäherung:

$$y = \pm \left(\frac{1}{2} + \frac{\varepsilon_0 A}{B^2 e_0^2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{s_0^2}{p^2}} \right)$$

und daher sind die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der zwei Wellen:

21) $$\frac{1}{n} = -\frac{1}{\varepsilon_0} B e_0 \left(1 + \frac{s_0^2}{p^2}\right) \quad \text{für } y < 0$$

21 *a*) bezw. $$\frac{1}{n} = \frac{A}{B e_0} \quad . \; . \; . \; . \; . \text{ für } y > 0.$$

Für die ersteren Strahlen 21) ist $\varkappa < 0$. Nur diese werden also im elektrischen Felde »emittiert«. Falls $B > 0$, so sind dieselben Kathodenstrahlen, denn ihre Fortpflanzung findet in der Richtung oder im spitzen Winkel zu der negativen Feldstärke $-\mathfrak{e}_0$ statt. Falls $B < 0$ ist, so sind diese Strahlen mit den von Goldstein entdeckten Kanalstrahlen, beziehungsweise mit den von Gehrke und Reichenheim hergestellten Anodenstrahlen zu identifizieren. Es findet nun im allgemeinen jedesmal ein Zeichenwechsel von B über unendlich statt, wenn die Schwingungszahl p der Welle eine der Eigenschwingungszahlen p_{0i} überschreitet. Es gibt also viele Gruppen von negativen, beziehungsweise positiven Longitudinalstrahlen, deren Schwingungszahlen in alternierenden Intervallen zwischen den optischen Eigenschwingungszahlen liegen. Bringt man die Summe B (Gleichung 15) auf gemeinsamen Nenner, so erkennt man, daß auch innerhalb dieser Intervalle Zeichenwechsel von B über Null stattfinden, welche den Wurzeln des gemeinsamen Zählers entsprechen. Andrerseits kann einer der Zeichenwechsel von B bei einer Eigenschwingungszahl entfallen, wenn der Zähler dieselbe Wurzel hat, das heißt wenn ein Zeichenwechsel über unendlich mit einem Zeichenwechsel über Null zusammenfällt.

12. Im sehr schwachen elektrostatischen Felde und im unelektrischen Felde ist mit hinreichender Annäherung:

$$\varkappa = \frac{B s_0}{2A} \frac{e_0}{p n} \quad \text{und} \quad \frac{1}{n} = -\frac{B}{2\varepsilon_0} e_0 \pm \sqrt{\frac{A}{\varepsilon_0} + \frac{B^2}{4\varepsilon_0^2} e_0^2}.$$

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Longitudinalstrahlen im unelektrischen Felde

22) $$\frac{1}{n} = \pm \sqrt{\frac{A}{\varepsilon_0}}$$

ist also nur in jenen Intervallen der Schwingungszahlen p reell, für welche A positiv ist, wobei aber zu erinnern ist, daß wir von der nicht völlig zutreffenden Annahme $c_i = x_i = 0$ ausgegangen sind. Es gibt hiernach in diesem idealen Falle Longitudinalstrahlen, welche aus dem starken elektrischen Felde, in welchem sie emittiert werden, nicht in das unelektrische Feld austreten können. Die Zeichenwechsel von A finden wieder bei den Eigenschwingungszahlen über unendlich und bei den Nullstellen des gemeinsamen Zählers von A über Null statt und zwei solche Zeichenwechsel können sich durch das Zusammenfallen einer Wurzel des Zählers mit einer Eigenschwingungszahl aufheben. Die Mannigfaltigkeit des Verhaltens der Longitudinalstrahlen verschiedener Schwingungszahl kann also sehr groß sein. Es scheint aber, daß in verdünnten Gasen nur drei Eigenschwingungszahlen p_{01} p_{02} p_{03} starken Einfluß auf die Fortpflanzungsweise dieser Strahlen haben, also zu stofflichen Differentialgesetzen III_i IV_i gehören, in welchen die Konstanten a_i oder b_i merklich von Null verschieden sind. Es liegt p_{01} außerhalb des Ultraviolett, p_{02} an der äußersten Grenze des Ultraviolett und p_{03} weit im Ultraroten. B ist für große Schwingungszahlen positiv, wechselt sein Vorzeichen nicht bei p_{01}, sondern erst bei p_{02} (über unendlich) und wieder bei p_{03}. A ist für große Schwingungszahlen positiv und wechselt sein Vorzeichen bei p_{01} und wieder bei p_{02} (über unendlich), aber nicht bei p_{03}. Die

Longitudinalstrahlen, deren Schwingungszahlen in dem Intervall $p_{01} > p > p_{02}$ liegen, können hiernach nicht in das unelektrische Feld austreten. Die Longitudinalstrahlen, deren Schwingungszahl größer ist als jene des ultravioletten Lichtes, sind negative Strahlen und ebenso die Longitudinalstrahlen, deren Schwingungszahl kleiner als jene des ultraroten Lichtes ist. Die Longitudinalstrahlen, deren Schwingungszahlen gleich jenen des ultraroten, sichtbaren oder ultravioletten Lichtes sind, sind hiernach positive Strahlen.

3. Ladende Wirkung und Wärmewirkung der elektrischen Longitudinalstrahlen.

13. Wir betrachten in diesem Kapitel die Variablen zweiter Ordnung der Wellen: den Energieinhalt der Volumseinheit, den Energiefluß, die Wärmeproduktion pro Volums- und Zeiteinheit, die ladende Wirkung der Strahlen. Diese sind durch Produkte der Variablen erster Ordnung der Welle bestimmt. Wenn zwei Variable α und β einer komplexen Welle $\alpha = \alpha' e^{i\varphi}$, $\beta = \beta' e^{i\varphi}$ gegeben sind und man mit (α) (β) die reellen Werte derselben bezeichnet, so ist der Mittelwert des Produktes derselben

23) $$((\alpha) \cdot (\beta)) = \tfrac{1}{2} e^{-2\varphi_2} (\alpha_1 \beta_1 + \alpha_2 \beta_2) = \tfrac{1}{4} e^{-2\varphi_2} (\alpha' \beta'' + \alpha'' \beta').$$

Hierin ist $\alpha' = \alpha_1 + i\alpha_2$, $\beta' = \beta_1 + i\beta_2$, $\varphi = \varphi_1 + i\varphi_2$, $\alpha'' = \alpha_1 - i\alpha_2$, $\beta'' = \beta_1 - i\beta_2$.

14. Im vorigen Kapitel (§ 8) haben wir überdies in dem elektrischen Differentialgesetze I) die Glieder zweiter Ordnung

24) $$\mathfrak{L} = \bar{\varepsilon} \frac{\partial \mathfrak{e}}{\partial t} + \frac{1}{2} \bar{\mathfrak{e}} \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} \doteq c_0 \operatorname{rot} \mathfrak{m}$$

(worin $\bar{\varepsilon} = \varepsilon - \varepsilon_0$ und $\bar{\mathfrak{e}} = \mathfrak{e} - \mathfrak{e}_0$) vernachlässigt und müssen dieselben hier berücksichtigen. Indem wir die Gleichung 24) zwischen diesen Gliedern als annähernd erfüllt ansehen, setzen wir voraus, daß das Integral 11), also die longitudinale Sinuswelle, die Differentialgesetze I bis IV_i) nicht nur in erster, sondern ohne weiteres Zutun auch in zweiter Annäherung erfüllt und werden hierfür weiter unten § 17 den Beweis erbringen. Ein elektrischer Longitudinalstrahl wird von einer kohaerenten Welle des dielektrischen Koeffizienten ε begleitet. Der Verschiebungsstrom zweiter Ordnung $\mathfrak{L}$ (Gleichung 24) hat in aufeinanderfolgenden halben Wellenlängen nicht entgegengesetzte Werte, sein Mittelwert $\mathfrak{L}_m$ ist nicht Null und bildet den charakteristischen Ladungsstrom dieser Strahlen. Bezeichnen wir die komplexen Amplituden der Welle und ihre konjugierten mit

$$\varepsilon' = \varepsilon_1 + i\varepsilon_2, \quad \varepsilon'' = \varepsilon_1 - i\varepsilon_2, \qquad \mathfrak{e}' = \mathfrak{e}_1 + i\mathfrak{e}_2, \quad \mathfrak{e}'' = \mathfrak{e}_1 - i\mathfrak{e}_2$$

$$\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial t}\right)' = -ip\varepsilon', \quad \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial t}\right)'' = +ip\varepsilon'', \quad \left(\frac{\partial \mathfrak{e}}{\partial t}\right)' = -ip\mathfrak{e}', \quad \left(\frac{\partial \mathfrak{e}}{\partial t}\right)'' = +ip\mathfrak{e}''.$$

Der kohaerente Ladungsstrom aller transversalen und longitudinalen elektrostofflichen Strahlen hat nach 24) und 23) den Wert:

25) $$\mathfrak{L}_m = \tfrac{1}{4} e^{-2\mathfrak{q}_2 \cdot \mathfrak{r}} p\, (\varepsilon_1 \mathfrak{e}_2 - \varepsilon_2 \mathfrak{e}_1) = \tfrac{1}{8} e^{-2\mathfrak{q}_2 \cdot \mathfrak{r}} p\, (\varepsilon' \mathfrak{e}'' - \varepsilon'' \mathfrak{e}').$$

15. Wir haben im vorigen Kapitel die Amplitude der Divergenzwelle 11) im Nullpunkte $\mathfrak{r} = 0$ gleich 1 gesetzt. Setzen wir dieselbe jetzt allgemeiner gleich D

$$\operatorname{div} \mathfrak{e} = D e^{i\varphi}.$$

Hieraus folgt für die rotorfreie longitudinale elektrische Schwingung:

26) $\mathfrak{e} = \mathfrak{e}' e^{i\varphi}$, worin $\mathfrak{e}' = -D \dfrac{i}{\mathfrak{q}}$ und es ist: $\mathfrak{e}' \mathfrak{e}'' = \mathfrak{e}_1^2 + \mathfrak{e}_2^2 \doteq \dfrac{D^2}{\mathfrak{q}_1^2 + \mathfrak{q}_2^2}$, worin $\mathfrak{q}_1^2 + \mathfrak{q}_2^2 = p^2 \mathfrak{n}^2 (1 + \varkappa^2)$.

Die Variablen zweiter Ordnung der Welle können also aus den im vorigen Kapitel angegebenen Amplituden der Variablen erster Ordnung (welche für $D = 1$ gelten) berechnet werden, müssen aber dann noch mit dem Faktor

27) $$D^2 = p^2 \mathfrak{n}^2 (1 + \varkappa^2) (\mathfrak{e}_1^2 + \mathfrak{e}_2^2)$$

multipliziert werden.

16. Für Longitudinalstrahlen ist nach § 9 (für $D = 1$)

27 *a*) $$\varepsilon' = 2 \frac{B}{p} \left(\frac{s_0}{p} - i\right) \text{ und } \varepsilon'' = 2 \frac{B}{p} \left(\frac{s_0}{p} + i\right).$$

Ferner ist nach 26) (für $D = 1$)

27 *b*) $$\mathfrak{e}' = - \frac{i}{\mathfrak{q}_1^2 + \mathfrak{q}_2^2} (\mathfrak{q}_1 - i \mathfrak{q}_2) \quad \text{und} \quad \mathfrak{e}'' = + \frac{i}{\mathfrak{q}_1^2 + \mathfrak{q}_2^2} (\mathfrak{q}_1 + i \mathfrak{q}_2).$$

Es folgt also nach 25) für den kohaerenten Ladungsstrom der Longitudinalstrahlen:

28) $$\mathfrak{L}_m = - \tfrac{1}{2} e^{-2 \mathfrak{q}_2 \cdot \mathfrak{x}} Bp \left(\frac{s_0}{p} + \varkappa\right) \mathfrak{n} \; (\mathfrak{e}_1^2 + \mathfrak{e}_2^2).$$

Derselbe ist longitudinal gerichtet und der reziproken Fortpflanzungsgeschwindigkeit $\mathfrak{n}$ proportional.

Da die Dämpfung $\varkappa$ im unelektrischen Felde Null ist (für $c_i = x_i = 0$), mit der Feldstärke $\mathfrak{e}_0$ numerisch wächst, aber nach (19) den Wert $-s_0/p$ nicht überschreiten kann, da nach § 11 y den Wert $-\frac{1}{2}$ nicht überschreitet, so ist $(s_0/p + \varkappa)$ wesentlich positiv. Der Ladungsstrom hat also entgegengesetzte Richtung wie die Fortpflanzungsgeschwindigkeit, wenn $B > 0$ ist, also nach § 11 und 12 für die Longitudinalstrahlen sehr großer Schwingungszahl (Kathodenstrahlen, β-Strahlen). Diese sind daher negativ ladende Strahlen.

Die Longitudinalstrahlen, deren Schwingungszahlen gleich jenen des ultraroten, sichtbaren oder ultravioletten Lichtes sind und für welche $B < 0$ ist (Anodenstrahlen, Kanalstrahlen, α-Strahlen), sind nach 28) positive ladende Strahlen. Die in starken elektrischen Feldern oft zu beobachtende scheinbar positiv ladende Wirkung der Kathodenstrahlen wird durch diffus reflektierte Kathodenstrahlen bewirkt, welche nach 21 *a*) sehr geringe Fortpflanzungsgeschwindigkeit haben, da sie mit der Richtung der negativen Feldstärke $-\mathfrak{e}_0$ einen stumpfen Winkel einschließen, deren kohaerenter Ladungsstrom aber eben deshalb nach 28) besonders ausgiebig ist (Antikathodenstrahlen).

17. Der magnetische Wirbel des kohaerenten Ladungsstromes $\mathfrak{L} = c_0 \operatorname{rot} \mathfrak{m}$ ist wie dieser von zweiter Größenordnung klein. Betrachten wir nur ein Strahlenbündel von kleinem Querschnitt in der Axe eines Strahles von endlichem Querschnitt, so ist der magnetische Vektor $\mathfrak{m}$ selbst von dritter Ordnung unendlich klein, denn er verhält sich zu rot $\mathfrak{m}$, wie der Querschnitt zu dem Umfange des Strahlenbündels. Daher brauchen wir das magnetische Differentialgesetz II) nicht heranzuziehen und haben mit obiger Berechnung des hohaerenten Ladungstromes die Integration des nichtlinearen elektrischen Differentialgesetzes I) bis zur zweiten Approximation vorgetrieben. Das transversale (periphere) magnetische Feld $\mathfrak{m}$ bewirkt aber mit dem longitudinalen elektrischen Felde $\mathfrak{e}_0$ den radialen Poynting'schen Energiefluß

$$\mathfrak{p} = c_0 \, (\mathfrak{e}_0 \times \mathfrak{m}), \text{ dessen Divergenz}$$

29) $$\operatorname{div} \mathfrak{p} = - c_0 \mathfrak{e}_0 \cdot \operatorname{rot} \mathfrak{m} = - \mathfrak{e}_0 \cdot \mathfrak{L}.$$

von derselben Größenordnung wie der variable Ladungsstrom $\mathfrak{L}$ ist und daher berücksichtigt werden muß. Der Umstand, daß die Energie bei diesen elektrostofflichen Strahlen nicht nur in der Strahlenrichtung transportiert wird, sondern auch in radialer Richtung entweichen, beziehungsweise zugeführt

werden kann, erfordert nun eine genauere Untersuchung, damit man über die Energieänderungen, Energiefluß und Energietransport in ebenen elektrostofflichen Wellen verläßliche Vorstellungen gewinnt.

18. Bezeichnen wir mit $\mathfrak{e}'\ \mathfrak{m}'\ \sigma_i'\ \tau_i'$ die komplexen Amplituden irgendeiner longitudinalen oder transversalen Welle und mit $\mathfrak{e}''\ \mathfrak{m}''\ \sigma_i''\ \tau_i''$ die konjugiert komplexen Werte. Das komplexe Integral

$$\mathfrak{e}=\mathfrak{e}'e^{i\varphi},\ \mathfrak{m}=\mathfrak{m}'e^{i\varphi},\ \sigma_i=\sigma_i'e^{i\varphi},\ \tau_i=\tau_i'e^{i\varphi}$$

setzen wir in die Differentialgesetze I II III$_i$ IV$_i$ ein. Man erhält hierdurch die Amplitudengleichungen:

$$30)\quad \left\{\begin{aligned} &p\,\varepsilon_0\,\mathfrak{e}'+\tfrac{1}{2}p\,\mathfrak{e}_0\,\varepsilon'-\mathfrak{q}\,\Sigma\,(a\sigma'+b\tau')=-c_0\,\mathfrak{q}\times\mathfrak{m}'\\ &p\,\mu_0\,\mathfrak{m}'+\tfrac{1}{2}p\,\mathfrak{m}_0\,\mu'=c_0\,\mathfrak{q}\times\mathfrak{e}'\\ &p\,e\,\sigma'+i\,r\,\tau'+i\,c\,\sigma'-a\,\mathfrak{q}.\mathfrak{e}'=0\\ &p\,m\,\tau'+i\,s\,\sigma'+i\,x\,\tau'-b\,\mathfrak{q}.\mathfrak{e}'=0\end{aligned}\right.$$

Multipliziert man diese Gleichungen der Reihe nach mit $\mathfrak{e}''\ \mathfrak{m}''\ \sigma''$, bezw. τ'' und setzt $\mathfrak{q}=\mathfrak{q}_1+i\mathfrak{q}_2=$ $=p\ (\mathfrak{n}_1+i\mathfrak{n}_2)$, so ergibt sich

$$31)\quad \left\{\begin{aligned} &\varepsilon_0\,\mathfrak{e}'.\mathfrak{e}''+\tfrac{1}{2}\mathfrak{e}_0\,\varepsilon'.\mathfrak{e}''-(\mathfrak{n}_1+i\,\mathfrak{n}_2)\,\Sigma\,(a\sigma'+b\tau').\,\mathfrak{e}''=-c_0\,(\mathfrak{n}_1+i\,\mathfrak{n}_2).(\mathfrak{m}'\times\mathfrak{e}'')\\ &\mu\,\mathfrak{m}'.\mathfrak{m}''+\tfrac{1}{2}\mathfrak{m}_0\,\mu'.\mathfrak{m}''=c_0\,(\mathfrak{n}_1+i\,\mathfrak{n}_2).(\mathfrak{e}'\times\mathfrak{m}'')\\ &e\,\sigma'\sigma''+i\frac{r}{p}\tau'\sigma''+i\frac{c}{p}\sigma'\sigma''-a\,(\mathfrak{n}_1+i\mathfrak{n}_2).\mathfrak{e}'\sigma''=0\\ &m\tau'\tau''+i\frac{s}{p}\sigma'\tau''+i\frac{x}{p}\tau'\tau''-b\,(\mathfrak{n}_1+i\mathfrak{n}_2).\mathfrak{e}'\tau''=0.\end{aligned}\right.$$

Die konjugiert komplexen Gleichungen lauten:

$$32)\quad \left\{\begin{aligned} &\varepsilon_0\,\mathfrak{e}''.\mathfrak{e}'+\tfrac{1}{2}\mathfrak{e}_0\,\varepsilon''.\mathfrak{e}'-(\mathfrak{n}_1-i\mathfrak{n}_2)\,\Sigma\,(a\sigma''+b\tau'').\,\mathfrak{e}'=-c_0\,(\mathfrak{n}_1-i\mathfrak{n}_2).(\mathfrak{m}''\times\mathfrak{e}')\\ &\mu_0\,\mathfrak{m}''.\mathfrak{m}'+\tfrac{1}{2}\mathfrak{m}_0\,\mu''.\mathfrak{m}'.=c_0\,(\mathfrak{n}_1-i\mathfrak{n}_2).(\mathfrak{e}''\times\mathfrak{m}_1)\\ &e\sigma''\sigma'-i\frac{r}{p}\tau''\sigma'-i\frac{c}{p}\sigma''\sigma'-a\,(\mathfrak{n}_1-i\mathfrak{n}_2).\mathfrak{e}''\sigma'=0\\ &m\tau''\tau'-i\frac{s}{p}\sigma''\tau'-i\frac{x}{p}\tau''\tau'-b\,(\mathfrak{n}_1-i\mathfrak{n}_2).\mathfrak{e}''\tau'=0\end{aligned}\right.$$

Addiert man diese Amplitudengleichungen zweiter Ordnung 31) und 32), so erhält man den reellen Teil derselben. Es fallen alle mit dem Faktor $\mathfrak{n}_2$ behafteten Glieder weg, ferner fallen die mit den Dämpfungskonstanten c_i und x_i behafteten Glieder weg, nicht aber die mit den Schwingungskonstanten r_i und s_i behafteten Glieder, und man erhält nach Multiplikation mit $\frac{1}{8}e^{-2\mathfrak{q}_2.\mathfrak{r}}$ die Gleichung:

$$33)\quad E_m^*-\mathfrak{S}_m.\mathfrak{n}_1=-\frac{i}{8p}e^{-2\mathfrak{q}_2.\mathfrak{r}}\,\Sigma\,((r-s)(\tau'\sigma''-\tau''\sigma'))$$

Hierin ist $E_m^*=E_{1m}^*+E_{2m}$, worin

$$E_{2m}=\tfrac{1}{4}e^{-2\mathfrak{q}_2.\mathfrak{r}}\,\Sigma\,(e\sigma'\sigma''+m\tau'\tau'')$$

der mittlere stoffliche Energieinhalt der Volumseinheit und

$$33a)\quad E_{1m}^*=\tfrac{1}{4}e^{-2\mathfrak{q}_1.\mathfrak{r}}(\varepsilon_0\,\mathfrak{e}'.\mathfrak{e}''+\tfrac{1}{4}\mathfrak{e}_0.(\varepsilon'\mathfrak{e}''+\varepsilon''\mathfrak{e}')+\mu_0\,\mathfrak{m}'.\mathfrak{m}''+\tfrac{1}{4}\mathfrak{m}_0.(\mu'\mathfrak{m}''+\mu''\mathfrak{m}'))$$

der longitudinal transportierte mittlere elektromagnetische Energieinhalt der Volumseinheit genannt werden möge. Es ist dies nicht der ganze mittlere elektromagnetische Energieinhalt E_{1m} der Volumseinheit, sondern dieser hat den Wert:

$$33b)\quad E_{1m}=\tfrac{1}{4}e^{-2\mathfrak{q}_2.\mathfrak{r}}(\varepsilon_0\,\mathfrak{e}'.\mathfrak{e}''+\mathfrak{e}_0.(\varepsilon'\mathfrak{e}''+\varepsilon''\mathfrak{e}')+\mu_0\,\mathfrak{m}'.\mathfrak{m}''+\mathfrak{m}_0.(\mu'\mathfrak{m}''+\mu''\mathfrak{m}')).$$

Ferner ist $\mathfrak{S}_m = \mathfrak{S}_{1m} + \mathfrak{S}_{2m}$ der gesamte mittlere Energiefluß (zweiter Ordnung) der Welle, welcher sich aus dem mittleren elektromagnetischen Energiefluß

$$\mathfrak{S}_{1m} = \tfrac{1}{4}\, e^{-2\mathfrak{q}_2 \cdot \mathfrak{r}}\, c_0 \,(\mathfrak{e}' \times \mathfrak{m}'' + \mathfrak{e}'' \times \mathfrak{m}')$$

und aus dem mittleren elektrostofflichen Energiefluß zusammensetzt:

33c) $$\mathfrak{S}_{2m} = \tfrac{1}{4}\, e^{-2\mathfrak{q}_2 \cdot \mathfrak{r}}\, \Sigma \left(a\,(\sigma' \mathfrak{e}'' + \sigma'' \mathfrak{e}') + b\,(\tau' \mathfrak{e}'' + \tau'' \mathfrak{e}')\right)$$

Subtrahiert man die Amplitudengleichungen 32) von 31), so erhält man den imaginären Teil derselben. Es fallen die mit dem Faktor $\mathfrak{n}_1$ behafteten Glieder sowie die quadratischen Energiewerte weg. Sodann multiplizieren wir mit $\frac{i}{4} p\, e^{-2\mathfrak{q}_2 \cdot \mathfrak{r}}$ Die von dem elektrostatischen Felde $\mathfrak{e}_0$ abhängenden Energiewerte liefern den Betrag

$$\frac{i}{8} p\, e^{-2\mathfrak{q}_2 \cdot \mathfrak{r}}\, \mathfrak{e}_0 \,.\, (\varepsilon' \mathfrak{e}'' - \varepsilon'' \mathfrak{e}') = \mathfrak{L}_m \,.\, \mathfrak{e}_0 \,.$$

Wir nehmen der Einfachheit wegen im folgenden an, daß kein magnetostatisches Feld $\mathfrak{m}_0$ vorhanden ist. Die Schwingungs- und Dämpfungsglieder liefern den Betrag:

$$-Q_m = -\tfrac{1}{4}\, e^{-2\mathfrak{q}_2 \cdot \mathfrak{r}}\, \Sigma \left(2\, c\, \sigma' \sigma'' + 2\, x\, \tau' \tau'' + (r+s)\,(\sigma' \tau'' + \sigma'' \tau')\right).$$

Nach (8) ist Q_m die mittlere Wärmeproduktion pro Volums- und Zeiteinheit. Die mit dem Faktor $\mathfrak{n}_2$ behafteten Glieder liefern hierbei den Wert $2\,\mathfrak{q}_2 \,.\, \mathfrak{S}_m$. Es ergibt sich sonach die Beziehung:

34) $$\mathfrak{L}_m \,.\, \mathfrak{e}_0 = -2\,\mathfrak{q}_2 \,.\, \mathfrak{S}_m + Q_m \,.$$

Tatsächlich ist $(\mathrm{div}\, \mathfrak{S})_m = \mathrm{div}\, \mathfrak{S}_m = -2\, \mathfrak{q}_2 \,.\, \mathfrak{S}_m$.

Ferner ist nach 29) § 17 $(\mathrm{div}\, \mathfrak{p})_m = \mathrm{div}\, \mathfrak{p}_m = -\mathfrak{L}_m \,.\, \mathfrak{e}_0$ und nach dem Energieprinzipe

$$Q_m + (\mathrm{div}\, (\mathfrak{S} + \mathfrak{p}))_m = 0 .$$

Aus diesen drei Gleichungen folgt die Beziehung 34). Nicht so leicht ist es, die Beziehung 33) aufzuklären, wir müssen zu diesem Behufe weiter ausholen.

19. Wir haben soeben nur den Stromeffekt $\mathfrak{L}_m \cdot \mathfrak{e}_0$ des mittleren Ladungsstromes $\mathfrak{L}_m$ betrachtet und müssen nun den Stromeffekt des variablen Teiles des Ladungsstromes

35) $$\mathfrak{L} = \bar{\varepsilon} \frac{\partial \mathfrak{e}}{\partial t} + \frac{1}{2} \bar{\mathfrak{e}} \frac{\partial \varepsilon}{\partial t}$$

berechnen. Das variable Produkt zweier reellen Variablen (α) (β) (vgl. § 13) einer in komplexer Form gegebenen Welle bestimmt sich durch:

$$4\, e^{2\varphi_2} (\alpha) \,.\, (\beta) = \alpha' \beta'' + \alpha'' \beta' + \alpha' \beta' e^{2i\varphi_1} + \alpha'' \beta'' e^{-2i\varphi} .$$

Man erhält sonach unter Berücksichtigung von 25)

35a) $$\bar{\varepsilon} \frac{d\mathfrak{e}}{dt} = 2\, \mathfrak{L}_m + \tfrac{1}{4}\, e^{-2\mathfrak{q}_2 \cdot \mathfrak{r}} \left(\varepsilon' \left(\frac{\partial \mathfrak{e}}{\partial t}\right)' e^{2i\mathfrak{q}_1 \cdot \mathfrak{r}} + \varepsilon'' \left(\frac{\partial \mathfrak{e}}{\partial t}\right)'' e^{-2i\mathfrak{q}_1 \cdot \mathfrak{r}}\right)$$

35b) $$\bar{\mathfrak{e}} \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = -2\, \mathfrak{L}_m + \tfrac{1}{4}\, e^{-2\mathfrak{q}_2 \cdot \mathfrak{r}} \left(\mathfrak{e}' \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial t}\right)' e^{2i\mathfrak{q}_1 \mathfrak{r}} + \mathfrak{e}'' \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial t}\right)'' e^{-2i\mathfrak{q}_1 \cdot \mathfrak{r}}\right).$$

Nach den im § 14 angegebenen Werten der komplexen Amplituden der Fluxionen sind die variablen Teile von $\bar{\varepsilon}\, \partial \mathfrak{e}/\partial t$ und $\bar{\mathfrak{e}}\, \partial \varepsilon/\partial t$ identisch. Es folgt somit:

$$\bar{\varepsilon} \frac{\partial \mathfrak{e}}{\partial t} - \bar{\mathfrak{e}} \frac{\partial \bar{\varepsilon}}{\partial t} = 4\, \mathfrak{L}_m \text{ oder nach 35)}$$

$$\mathfrak{L} = \mathfrak{L}_m + \frac{3}{4} \left(\bar{\varepsilon} \frac{\partial \mathfrak{e}}{\partial t} + \bar{\mathfrak{e}} \frac{\partial \varepsilon}{\partial t}\right)$$

also erhält man für den Stromeffekt des variablen Teiles des Ladungsstromes:

36) $$(\mathfrak{L}-\mathfrak{L}_m)\cdot\mathfrak{e}_0 = \frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{3}{4}\,\mathfrak{e}_0\cdot\bar{\mathfrak{e}}\,\bar{\varepsilon}\right) \text{ oder nach 29)}$$

37) $$\operatorname{div}(\mathfrak{p}-\mathfrak{p}_m) = -\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{3}{4}\,\mathfrak{e}_0\cdot\bar{\mathfrak{e}}\,\bar{\varepsilon}\right).$$

20. Die gesamte elektrische Energie E_1 des durchstrahlten Feldes hat den Wert

$$E_1 = \tfrac{1}{2}(\varepsilon_0+\bar{\varepsilon})(\mathfrak{e}_0+\bar{\mathfrak{e}})^2 = \tfrac{1}{2}\varepsilon_0\,\mathfrak{e}_0^2 + \tfrac{1}{2}\varepsilon_0\,\bar{\mathfrak{e}}^2 + \mathfrak{e}_0\cdot\bar{\mathfrak{e}}\,\bar{\varepsilon} + \ldots.$$

Die nicht angeschriebenen Glieder sind vom ersten oder dritten Grade in $\bar{\mathfrak{e}}$ und $\bar{\varepsilon}$ und tragen daher zu dem Mittelwerte dieser Energie nichts bei. Die Variablen zweiten Grades inkohaerenter Felder superponieren sich, in meiner Theorie ist jedoch diese Energie ein Produkt dritten Grades und superponiert sich also nicht einfach. Durch die Superposition der Strahlung und des elektrostatischen Feldes entsteht eine Energie von der Größe $\mathfrak{e}_0\cdot\bar{\mathfrak{e}}\,\bar{\varepsilon}$, welche im richtigen Verhältnis an die Energie E_0 des Feldes und an die Energie E^* der Strahlung aufgeteilt werden muß, wenn man daran festhalten will, daß der Energietransport durch den Strahl seinem longitudinalen Energiefluß gleich ist. Aus 33 *a*) ersieht man, daß nur der vierte Teil des Energiebetrages $\mathfrak{e}_0\cdot\bar{\mathfrak{e}}\,\bar{\varepsilon}$ zu der Energie der Strahlung gerechnet werden darf. Hingegen hat man die Energie des durchstrahlten elektrostatischen Feldes als variabel anzusehen und ihr den variablen Energiebetrag $\frac{3}{4}\mathfrak{e}_0\cdot\bar{\mathfrak{e}}\,\bar{\varepsilon}$ zuzuzählen. Nach (37) ist es die Divergenz des variablen Teiles $(\mathfrak{p}-\mathfrak{p}_m)$ des radialen Poynting'schen Energieflusses $\mathfrak{p}$, welche die Fluxion dieses variablen Teiles der Energie des durchstrahlten an sich exakt statischen Feldes $\mathfrak{e}_0$ bewirkt.

21. Damit die Beziehung (33) eine anschauliche Bedeutung erhält, muß aber noch außerdem die rechte Seite dieser Gleichung verschwinden. Dies fordert die Konstantenbedingung

38) $$r_i = s_i$$

und daher, wenn die Eigenschwingungszahlen p_{0i} reell sind, daß eine der energetischen Konstanten e_i oder m_i negativ ist. Dann erst nimmt die Beziehung (33) die Form an

39) $$E_m^* = \mathfrak{S}_m\cdot\mathfrak{n}_1 \quad\text{oder}\quad \mathfrak{c}\,E_m^* = \mathfrak{S}_m,$$

worin $\mathfrak{c}$ die Strahlgeschwindigkeit ist, und spricht die Gleichheit des mittleren Energieflusses und der Fortpflanzung der Energie E_m^* der Welle mit der Strahlgeschwindigkeit aus. Man ersieht hieraus, daß die wertvolle Arbeitshypothese der völligen Bestimmtheit des mittleren Energiefluß einer ebenen Welle und die wertvolle Arbeitshypothese des Energietransportes durch die Strahlgeschwindigkeit der ebenen Welle sich im allgemeinen widersprechen, wenn das Medium stofflicher Eigenschwingungen fähig ist und die Schwingungskonstanten r_i und s_i nicht gleich sind. Wenn man sich entschließt die Gleichheit (38) der Schwingungskonstanten anzunehmen, so muß doch dafür gesorgt werden, daß die Wärmeproduktion Q [Gleichung (8)] wesentlich positiv ist. Dies fordert, daß

40) $$c_i > 0, \quad x_i > 0, \quad (r_i+s_i)^2 \gtreqless 4\,c_i\,x_i$$

ist. Ferner darf der mittlere Energieinhalt E_m^* der Strahlen nicht negativ sein, obwohl eine der energetischen Konstanten e_i und m_i negativ sein kann.

Für Longitudinalstrahlen können wir diesen Energieinhalt bereits berechnen. Es ergibt sich aus (33 *a*), (27 *a*) und (27 *b*)

$$E_{{}_1m}^* = \tfrac{1}{4}\,e^{-2\,\mathfrak{q}_2\cdot x}\left(\varepsilon_0 + \frac{B}{p}\left(\mathfrak{q}_1 - \frac{s_0}{v}\,\mathfrak{q}_2\right)\cdot\mathfrak{e}_0\right)(\mathfrak{e}_1^2+\mathfrak{e}_2^2).$$

Nach der Hauptgleichung (17) der Welle ist aber:

$$\frac{B}{p}\left(\mathfrak{q}_1 - \frac{s_0}{p}\mathfrak{q}_2\right) \cdot \mathfrak{e}_0 = n^2\ (1-k^2)\ A - \varepsilon_0,$$

es folgt also für den fortpflanzbaren elektromagnetischen Energieinhalt:

41) $$E^*_{1m} = \tfrac{1}{4}\ e^{-2\mathfrak{q}_2 \cdot \mathfrak{r}}\ n^2\ (1-\varkappa^2)\ A\ (\mathfrak{e}_1^2 + \mathfrak{e}_2^2).$$

Für den stofflichen Energieinhalt erhält man nach (38), (13) und (15):

42) $$E_{2m} = \tfrac{1}{4}\ e^{-2\mathfrak{q}_2 \cdot \mathfrak{r}}\ n^2\ (1+\varkappa^2)\ A\ (\mathfrak{e}_1^2 + \mathfrak{e}_2^2).$$

Die gesamte fortpflanzbare Energie der Welle ist daher:

43) $$E^*_m = {}_4\ e^{-2\mathfrak{q}_2 \cdot \mathfrak{r}}\ n^2\ A\ (\mathfrak{e}_1^2 + \mathfrak{e}_2^2),$$

also ist in allen emittierbaren Longitudinalstrahlen (vgl. § 12), weil für dieselben $A > 0$ ist, der Energieinhalt wesentlich positiv. Hierbei hat sich also keine Schwierigkeit, sondern sogar (bei der Berechnung von (42) eine Überlegenheit der Annahme $r_i = s_i$ gezeigt.

22. Wir kehren nun zu der Betrachtung allgemeiner transversaler oder longitudinaler Strahlen im starken elektrischen Felde $\mathfrak{e}_0$ zurück, nehmen aber nicht mehr an, daß dieses exakt konstant gehalten wird, sondern nehmen nur an, daß alle Elektroden exakt isoliert sind. Es ist dann

44) $$\operatorname{rot} \mathfrak{m} = 0 \quad \text{aber } \partial \mathfrak{e}_0 / \partial t \neq 0.$$

In dem elektrischen Differentialgesetz I ist dann noch das Glied $\varepsilon_0 \frac{\partial \mathfrak{e}_0}{\partial t}$ zu berücksichtigen, obgleich dasselbe von zweiter Ordnung klein sein wird. Es folgt aus I und 44):

$$\varepsilon_0 \frac{\partial \mathfrak{e}_0}{\partial t} + \mathfrak{L}_m = 0,$$

weil bei der Mittelbildung über eine ganze Schwingungsdauer des Strahles $\frac{\partial \mathfrak{e}_0}{\partial t}$ als konstant anzusehen ist und das Mittel der Ströme erster Ordnung (Verschiebungsstrom, chemischer oder stofflicher Strom) Null ist. Hieraus folgt durch Multiplikation mit $\mathfrak{e}_0$:

45) $$\mathfrak{L}_m \cdot \mathfrak{e}_0 = -\frac{\partial}{\partial t}\left(\tfrac{1}{2}\ \varepsilon_0\ \mathfrak{e}_0^2\right) = -\left(\frac{\partial}{\partial t}\ E_0\right)_m.$$

Der gesamte mittlere Stromeffekt des kohaerenten Ladungsstromes aller Strahlen meiner Theorie besteht bei isolierten Elektroden (für $\operatorname{rot} \mathfrak{m} = 0$) nur darin, daß die elektrostatische Energie des Feldes eine lokale Fluxion erfährt. In (45) bedeutet

$$E_0 = \tfrac{1}{2}\ \varepsilon_0\ \mathfrak{e}_0^2 + \tfrac{3}{4}\ \mathfrak{e}_0 \cdot \bar{\mathfrak{e}}\ \bar{\varepsilon}$$

die Energie des durchstrahlten quasistatischen Feldes (vgl. § 20). Es ist nämlich

$$\left(\frac{\partial}{\partial t}\left(\tfrac{3}{4}\ \mathfrak{e}_0 \cdot \bar{\mathfrak{e}}\ \bar{\varepsilon}\right)\right)_m = 0, \quad \text{weil} \left(\frac{\partial}{\partial t}\left(\bar{\mathfrak{e}}\ \bar{\varepsilon}\right)\right)_m = 0 \text{ ist.}$$

Letzteres folgt durch Addition von 35 *a*) und 35 *b*).

Der kohaerente Ladungsstrom $\mathfrak{L}_m$, sowohl der Kathodenstrahlen als auch der Anoden- und Kanalstrahlen, hat stets die Richtung der positiven elektrostatischen Feldstärke $\mathfrak{e}_0$, oder schließt mit dieser einen spitzen Winkel ein, weil B nach § 11 für Kathodenstrahlen positiv, für Anoden- und Kanalstrahlen negativ ist. Es ist daher der Stromeffekt $\mathfrak{L}_m \cdot \mathfrak{e}_0$ stets positiv und daher wirken

diese (im elektrostatischen Felde emittierten) Longitudinalstrahlen stets entladend, sie verkleinern nach (45) die elektrostatische Energie des Feldes.

23. Beziehung zwischen der elektrischen Emission der Longitudinalstrahlen und ihrer entladenden Wirkung. Dieser Energieverlust des Feldes kann, wenn das durchstrahlte verdünnte Gas keine Absorptionsfähigkeit hat, nicht durch eine Erwärmung desselben kompensiert werden, sondern die verlorene elektrostatische Energie muß als Erwärmung derjenigen dichteren Körper auftreten, auf welche die emittierten Strahlen auftreffen. Die Strahlen müssen also die von dem Felde verlorene Energie E_0 transportieren, dieselbe muß sich direkt in erhöhte Strahlungsenergie E^*_m umsetzen, das heißt die Amplituden der Variablen des Strahles müssen zunehmen, während dieser das elektrostatische Feld durcheilt, der Strahl muß negative Dämpfung $\varkappa$ haben, er muß durch das elektrostatische Feld »emittiert« werden. Der Energieinhalt E^*_m des Strahles muß hierbei pro Volums- und Zeiteinheit um denselben Betrag zunehmen, um welchen die elektrostatische Energie E_0 abnimmt. Die totale Fluxion $\frac{dE^*_m}{dt}$ des Energieinhaltes des Strahles, das ist die Fluxion von E^*_m in einem mit der Strahlgeschwindigkeit $\mathfrak{c}$ bewegten Punkte muß gleich und entgegengesetzt der lokalen Fluxion des Energie- und Wärmeinhalts des Feldes sein, genauer gilt:

46) $$-\frac{dE^*_m}{dt} = \left(\frac{\partial}{\partial t} E_0\right)_m + Q_m.$$

In einem ruhenden Punkt des stationär durchstrahlten Feldes ist aber E^*_m konstant. Es folgt also

47) $$\frac{dE^*_m}{dt} = \mathfrak{c}\,.\,\nabla E^*_m.$$

Vernachlässigt man die Wärmeproduktion Q_m zufolge der natürlichen Absorption des Strahles in dem verdünntem Gase, so ergibt sich aus (45), (46) und (47) die Beziehung

48) $$\mathfrak{L}_m\,.\,\mathfrak{e}_0 = \mathfrak{c}\,.\,\nabla E^*_m.$$

Diese Gleichung gestattet, den kohaerenten Ladungsstrom $\mathfrak{L}_m$ auf einem prinzipiell anderen Wege als dies weiter oben § 16 geschah, zu berechnen, nämlich aus dem Werte der Strahlungsenergie E^*_m. Es ist nach (43)

$$E^*_m = \tfrac{1}{2}\, e^{-2\varkappa p \mathfrak{n}.\mathfrak{r}}\, n^2 A\, (\mathfrak{e}_1^2 + \mathfrak{e}_2^2)$$

Hieraus folgt

49) $$\mathfrak{c}\,.\,\nabla E^*_m = -e^{-2\varkappa p \mathfrak{n}.\mathfrak{r}}\, \varkappa p\, n^2 A\, (\mathfrak{e}_1^2 + \mathfrak{e}_2^2).$$

Nach der Grundgleichung (16) der Longitudinalwellen ist:

$$\varkappa n^2 A = \tfrac{1}{2} B\, \mathfrak{n}\;\mathfrak{e}_0 \left(\frac{s_0}{p} + \varkappa\right).$$

Man erhält daher nach (48) und (49)

50) $$\mathfrak{L}_m = -\tfrac{1}{2}\, e^{-2\varkappa p \mathfrak{n}.\mathfrak{r}}\, Bp \left(\frac{s_0}{p} + \varkappa\right) \mathfrak{n}\; (\mathfrak{e}_1^2 + \mathfrak{e}_2^2).$$

Dieser Wert des kohaerenten Ladungsstromes, welcher hier durch Integration der Differentialgesetze I bis IV_l bis zur ersten Annäherung und unter Zuziehung des Energieprinzips gewonnen wurde, ist genau derselbe, welchen wir im § 16, Gleichung (28) ohne Zuziehung des Energieprinzipes durch Integration der Differentialgesetze bis zur zweiten Annäherung gewonnen haben. Durch diese Überlegungen haben wir ein anschauliches Bild des Energietransportes durch den Strahl, der entladenden Wirkung desselben und der damit zusammenhängenden negativen Dämpfung oder Emission des Strahles durch das elektrostatische Feld gewonnen.

24. Die Kanalstrahlen sind bei ihrem Auftreten vor der Kathode nichts anderes als Longitudinalstrahlen, deren Schwingungszahlen denen der Anodenstrahlen (oder des Lichtes im weitesten Sinne) entsprechen, solche dürften überall in der ganzen Entladungsröhre, allerdings nur mit äußerst geringer Energie ausgesendet werden. Die von der Grenzfläche des Kathodendunkelraumes (siehe w. unten § 35), gegen die Kathode gehenden Strahlen dieser Schwingungszahlen sind negativ gedämpft, das heißt, sie werden durch das elektrostatische Feld emittiert und treffen mit großer Energie auf die Kathodenfläche, welche sie, wenn sie perforiert ist, als Kanalstrahlen durchdringen.

25. Verhältnis der ladenden Wirkung zu der Wärmewirkung der Longitudinalstrahlen. Die mittlere Wärmewirkung W_m eines Strahles ist die Wärmemenge, welche eine den Strahl auffangende Fläche F pro Zeiteinheit und Flächeneinheit des senkrechten Querschnittes des Strahles empfängt. Dieselbe bildet das Maß der Intensität des Strahles und ist dem skalaren Werte des mittleren longitudinalen Energieflusses, bei Longitudinalstrahlen also des stofflichen Energieflusses $\mathfrak{S}_{2m}$, gleich.

$$W_m = (\mathfrak{S}_{2m})_s = \tfrac{1}{2} e^{-2\mathfrak{q}_2 \cdot \mathfrak{r}} n A (\mathfrak{e}_1^2 + \mathfrak{e}_2^2).$$

Die Elektrizitätsmenge, welche der Strahl an die Fläche F pro Zeit und Querschnittseinheit abgibt, ist dem skalaren Werte des Ladungsstromes $\mathfrak{L}_m$ gleich. Nach dem Austritt aus dem starken Elektrodengefälle hat der Strahl keine elektrische Dämpfung mehr ($\varkappa = 0$) und ist nach (50)

$$(\mathfrak{L}_m)_s = -\tfrac{1}{2} B s_0 n (\mathfrak{e}_1^2 + \mathfrak{e}_2^2)$$

und ferner nach (22) $A = \varepsilon_0/n^2$. Es folgt also

51) $$\frac{1}{n^2}\left(\frac{\mathfrak{L}_m}{\mathfrak{S}_{2m}}\right)_s = -\frac{B s_0}{\varepsilon_0} = \psi.$$

Das Verhältnis der ladenden Wirkung $\mathfrak{L}_m$ eines Longitudinalstrahles im unelektrischen Felde zu seiner Wärmewirkung $\mathfrak{S}_{2m}$ ist dem Quadrate seiner Fortpflanzungsgeschwindigkeit verkehrt proportional[1]. Das Verhältnis ψ ist eine charakteristische Strahlkonstante (von der Schwingungszahl p abhängende Konstante) der verschiedenen Gruppen der Longitudinalstrahlen und spielt in der Undulationstheorie dieser Strahlen dieselbe Rolle, wie das Verhältnis der doppelten Ladung zu der Masse eines Elektrons in der Elektronentheorie dieser Strahlen. Nach (15 a) nähert sich Bs_0 und damit ψ für sehr hohe Schwingungszahlen asymptotisch dem Grenzwerte:

52) $$\psi_0 = -\frac{1}{2\varepsilon_0}\sum_i\left(\varepsilon_1\frac{br}{me} + \varepsilon_2\frac{as}{em}\right).$$

Die Kathodenstrahlen sehr hoher Schwingungszahl (das sind die gewöhnlichen Kathodenstrahlen) haben also sämtlich annähernd dieselbe Strahlkonstante ψ_0. Bei Abnahme der Schwingungszahl steigt der numerische Wert von ψ nur wenig und erreicht in der Nähe der höheren Eigenschwingung p_{01} (für β-Strahlen) den größten Wert. Das Ansteigen von Bs_0 bis unendlich bei $p = p_{02}$ findet in dem Gebiete $p_{01} > p > p_{02}$ der nicht emittierbaren Longitudinalstrahlen statt (vgl. § 12), ist also unbeobachtbar. Im Gebiete der positiven Strahlen ($p < p_{02}$) ist ψ positiv und sinkt bei Verkleinerung der Schwingungszahl bedeutend, wie dies den Beobachtungen entspricht.

4. Gekrümmte elektrische Longitudinalstrahlen. Elektrostatische und magnetische Ablenkung derselben.

26. Wir suchen nun Integrale des Systems I bis IV_i (§ 8) der Differentialgesetze für den Fall, daß das elektrostatische Feld $\mathfrak{e}_0$ inhomogen und die Wellenflächen der Longitudinalwellen gekrümmt sind, und zwar gehen wir von dem reellen Integrale

---

[1] G. Jaumann, Elektromagnetische Theorie, diese Sitzber. 117 (1908), p. 513.

53) $$\operatorname{div} \mathfrak{e} = f.\varphi\,(\gamma - t)$$

aus, worin f und γ Funktionen des Ortes sind. Die Gleichung der Wellenflächen ist $\gamma = \text{const.}$ Die reziproke Fortpflanzungsgeschwindigkeit dieser Wellen ist $\nabla\gamma$. Das Gefälle der Amplitudenfunktion f, genauer von $\log f$, nämlich $\nabla \log f = \nabla f/f$, entsteht einerseits durch die elektrische Dämpfung des Strahles, andrerseits durch die Ausbreitung oder Konzentration der Strahllinien (Wellennormalen) bei nach vorn konvexen, beziehungsweise konkaven Wellenflächen. Die Funktion φ des Argumentes $(\gamma - t)$ sei einfach periodisch, das soll heißen, sie erfülle die Bedingung:

54) $$\varphi'' = -p^2\varphi.$$

Hierin ist p die Schwingungsfrequenz der Welle.

Durch Einsetzen dieses Integrals erhält man statt der Konstantenbedingungen (16), (17), welche n und $\varkappa$ für die ebenen Londitudinalwellen bestimmen, nun folgende Bedingungen für die Vektoren $\nabla\gamma$ und $\nabla f/f$:

55) $$B\left(\operatorname{div} \mathfrak{e}_0 - \mathfrak{e}_0 . \left(s_0 \nabla\gamma - \frac{\nabla f}{f}\right)\right) = A\left(2\nabla\gamma . \frac{\nabla f}{f} + \operatorname{div} \nabla\gamma\right)$$

56) $$\varepsilon_0 + B\left(\frac{s_0}{p^2} \operatorname{div} \mathfrak{e}_0 + \mathfrak{e}_0 . \left(\nabla\gamma + \frac{s_0}{p^2}\frac{\nabla f}{f}\right)\right) = A\left((\nabla\gamma)^2 - \frac{1}{p^2}\left(\frac{\nabla f}{f}\right)^2 - \frac{1}{p^2}\operatorname{div}\frac{\nabla f}{f}\right).$$

Für manche Fälle ist folgende Form dieser Differentialgleichungen bequemer:

56a) $$\frac{\varepsilon_0}{B} + \mathfrak{e}_0 . \nabla\gamma\left(1 + \frac{s_0^2}{p^2}\right) - C(\nabla\gamma)^2 = -\frac{C}{p^2}\left[\operatorname{div}\left(s_0 \nabla\gamma + \frac{\nabla f}{f}\right) + \frac{\nabla f}{f} . \left(2 s_0 \nabla\gamma + \frac{\nabla f}{f}\right)\right]$$

55a) $$\mathfrak{e}_0 . \left(\frac{\nabla f}{f} - s_0 \nabla\gamma\right) + \operatorname{div}(\mathfrak{e}_0 - C\nabla\gamma) = 2\, C\nabla\gamma . \frac{\nabla f}{f}$$

worin $C = A/B$ ist.

Falls die Verteilung des elektrostatischen Feldes $\mathfrak{e}_0$ einfach ist und keine speziellen Grenzbedingungen vorgeschrieben sind, ist es nicht schwer, verwendbare Lösungen γ und f dieser Gleichungen zu finden.

27. Das elektrostatische Feld bestehe aus einem homogenen Felde $\bar{e}_0\,\mathfrak{k}$, in welchem sich in der Richtung der Einheitsvektors $\mathfrak{k}$ ebene Longitudinalwellen fortpflanzen und wir berechnen die Wirkung eines hinzugefügten transversalen elektrostatischen Feldes, dessen Potential α sei, auf die Fortpflanzung dieser Wellen. Es ist $\mathfrak{k}.\nabla\alpha = 0$ und es sei $\operatorname{div} \mathfrak{e}_0 = 0$, also $\operatorname{div}\nabla\alpha = 0$. Dann kann man setzen:

$$\nabla\alpha = \nabla\beta \times \mathfrak{k},$$

worin β die konjugierte Funktion ist und dann ist auch

$$\operatorname{div} \nabla\beta = 0 \quad \text{und} \quad (\nabla\alpha)^2 = (\nabla\beta)^2.$$

Hierdurch haben wir ein dreifach orthogonales Koordinatenatensystem $\mathfrak{k}$, $\nabla\alpha$, $\nabla\beta$ gegeben. Die allgemeinste in diesem inhomogenen elektrostatischen Felde

$$\mathfrak{e}_0 = \bar{e}_0\,\mathfrak{k} + \nabla\alpha$$

mögliche Longitudinalwelle ist durch

$$\nabla\gamma = n\,\mathfrak{k} + f_1 \nabla\alpha + f_2 \nabla\beta$$

$$\frac{\nabla f}{f} = \varkappa\, n\,\mathfrak{k} + f_3 \nabla\alpha + f_4 \nabla\beta$$

beschrieben, worin f_1, f_2, f_3 und f_4 Funktionen von α und β sind. Dieselben müssen vor allem die Bedingungen erfüllen

$$\frac{\partial f_1}{\partial \beta} = \frac{\partial f_2}{\partial \alpha} \text{ und } \frac{\partial f_3}{\partial \beta} = \frac{\partial f_4}{\partial \alpha}$$

und die Differentialbedingungen (56 *a*) und (56 *b*) nehmen für diesen Fall die Form an:

$$57)\quad f_1\left(1+\frac{s_0^2}{p^2}\right)-C\,(f_1^2+f_2^2)=-\frac{C}{p^2}\left[s_0\left(\frac{\partial f_1}{\partial \alpha}+\frac{\partial f_2}{\partial \beta}\right)+\frac{\partial f_3}{\partial \alpha}+\frac{\partial f_4}{\partial \beta}\right]-$$
$$-\frac{C}{p^2}\,[2\,s_0\,(f_1 f_3+f_2 f_4)+f_3^2+f_4^2].$$

$$58)\quad f_3-s_0 f_1-C\left(\frac{\partial f_1}{\partial \alpha}+\frac{\partial f_2}{\partial \beta}\right)=2\,C\,(f_1 f_3+f_2 f_4).$$

Hierzu kommen noch die Konstantenbedingungen (16), (17), welde durch n und $\varkappa$ erfüllt werden. Die longitudinale Fortpflanzung der Welle in der Richtung $\mathfrak{k}$ ist unverändert, doch treten transversale Komponenten $f_1 \nabla \alpha + f_2 \nabla \beta$ der reziproken Fortpflanzungsgeschwindigkeit auf und die Wellennormalen krümmen sich unter dem Einflusse des transversalen ablenkenden Feldes $\nabla \alpha$.

28. Für die gewöhnlichen Kathodenstrahlen kann mit hinreichender Annäherung $p = \infty$ gesetzt werden und ist die longitudinale reziproke Fortpflanzungsgeschwindigkeit:

$$\frac{1}{n} = -\frac{1}{\varepsilon_0} B \bar{e}_0$$

und die elektrische Dämpfung pro Längeneinheit:

$$\varkappa p n = -\frac{\varepsilon_0}{2C} s_0 \bar{e}_0.$$

Gegen das ablenkende transversale Feld $\nabla \alpha$ verhalten sich diese Strahlen ganz anders. Für $p = \infty$ zerfällt die Bedingung (56 *a*) in die zwei Gleichungen:

$$59)\quad \frac{\varepsilon_0}{B} + \bar{e}_0 n - C n^2 = 0$$

$$60)\quad \mathfrak{e}_0 \cdot \nabla \eta - C(\nabla \eta)^2 = 0 \quad \text{oder} \quad \nabla \eta = \frac{1}{C}\bar{\bar{e}}_0,$$

worin $\bar{\bar{e}}_0$ die in die Richtung der transversalen Komponente

$$\nabla \eta = f_1 \nabla \alpha + f_2 \nabla \beta$$

der reziproken Fortpflanzungsgeschwindigkeit $\nabla \eta$ fallende Komponente der gesamten elektrostatischen Feldstärke $\mathfrak{e}_0$ ist. Das konstante Glied ε_0/B von (56 *a*) ist gänzlich von (59) aufgenommen, deshalb hat die transversale Fortpflanzung einen ganz entgegengesetzten Charakter als die longitudinale. Die Fortpflanzung in transversaler Richtung ist der transversalen Feldstärke $\bar{\bar{e}}_0$ verkehrt proportional und findet in der Richtung der positiven transversalen Feldstärke statt. Die gewöhnlichen Kathodenstrahlen hoher Schwingungszahl werden also, wenn sie parallelstrahlig im starken elektrostatischen Felde $\bar{e}_0 \mathfrak{k}$ in Richtung der negativen elektrostatischen Kraft fortschreiten, durch ein transversales Zusatzfeld $\nabla \alpha$ im Sinne der positiven transversalen Feldstärke abgelenkt, das heißt durch einen von der Seite her genäherten positiv elektrisierten Körper abgestoßen, beziehungsweise negativ elektrisierten Körper angezogen.

Damit kann die paradoxe Richtung der elektrostatischen Ablenkung parallelstrahliger Kathodenstrahlen im starken elektrostatischen Felde, welche der Verfasser[1] zuerst beobachtet hat.

---

[1] Vgl. weiter oben § 2, p. 6.

erklärt werden. In gleichem Sinne wirkt aber auch die nach vorn konvexe Krümmung der Wellenflächen (Divergenz der Wellennormalen) der Kathodenstrahlen, wie w. u. § 30 ausgeführt werden soll.

29. Für die gewöhnlichen Kathodenstrahlen ($p \doteq \infty$) nimmt die Gleichung (56 *a*) die Form an:

$$\frac{\varepsilon_0}{B} + \mathfrak{e}_0 . \nabla \gamma - C (\nabla \gamma)^2 = 0 .$$

Schreiben wir dies unter Einführung der Bezeichnungen $\nabla \gamma = \mathfrak{n}$ und $k = 1/C$ in der Form:

$$k \, \mathfrak{e}_0 . \mathfrak{n} - \mathfrak{n}^2 + \frac{\varepsilon_0}{A} = 0$$

und nehmen davon den Gradienten, so folgt:

61) $$k \nabla (\mathfrak{e}_0 . \mathfrak{n}) - 2 \, \mathfrak{n} . \nabla ; \, \mathfrak{n} = 0$$

Bezeichne $\frac{1}{\mathfrak{r}_3}$ die Krümmung der Wellennormalen, so ist

$$- \frac{\mathfrak{n}}{n} . \nabla ; \frac{\mathfrak{n}}{n} = \frac{1}{\mathfrak{r}_3}$$

worin n der skalare Wert von $\nabla \gamma$, also die reziproke Fortpflanzungsgeschwindigkeit, und $\mathfrak{n}/n$ ein Einheitsvektor von der Richtung der Wellennormalen ist. Hieraus folgt:

$$\frac{1}{\mathfrak{r}_3} = - \frac{1}{\mathfrak{n}} \times (\mathfrak{n} . \nabla ; \mathfrak{n}) \times \frac{1}{\mathfrak{n}}$$

und nach (61)

62) $$\frac{1}{\mathfrak{r}_3} = - \frac{k}{2} \frac{1}{\mathfrak{n}} \times (\nabla ; \mathfrak{e}_0 . \mathfrak{n} + \nabla ; \mathfrak{n} . \mathfrak{e}_0) \times \frac{1}{\mathfrak{n}} .$$

Dies stellt das Elementargesetz der elektrostatischen Krümmung oder Ablenkung der Kathodenstrahlen dar. Die beiden Glieder des eingeklammerten Vektors $\nabla (\mathfrak{e}_0 \cdot \mathfrak{n})$ stellen einerseits den Einfluß dar, welchen die Inhomogenität $\nabla ; \mathfrak{e}_0$ des elektrostatischen Feldes auf die Krümmung der Wellennormalen hat, andrerseits den Einfluß, welchen die Krümmungsdyade $\nabla ; \mathfrak{n}$ der Wellenfläche (auch im homogenen elektrostatischen Felde) auf die Krümmung der Wellennormalen (Strahlkrümmung) besitzt.

30. Wenn die Wellenfläche in dem betrachteten Punkte sphärisch gekrümmt ist, so kann die Verteilung von $\mathfrak{n}$ in dessen nächster Umgebung dargestellt werden durch $\mathfrak{n} = f(r) \, \mathfrak{r}$, worin $\mathfrak{r}$ der vom Krümmungsmittelpunkte der Wellenfläche gezählte Ortsvektor ist. Hieraus folgt

$$\nabla ; \mathfrak{n} = \frac{1}{r} f' (r) \, \mathfrak{r} ; \mathfrak{r} + f (r) \, I .$$

Da $\mathfrak{r}$ und $\mathfrak{n}$ gleiche Richtung haben, folgt weiter [nach (62)]

$$\frac{1}{\mathfrak{n}} \times \nabla ; \mathfrak{n} = f (r) \frac{1}{\mathfrak{n}} \times I = \frac{1}{\mathfrak{r}} \times I$$

63) $$\frac{1}{\mathfrak{r}_3} = - \frac{k}{2} \frac{1}{n} \times (\nabla ; \, \mathfrak{e}_0 . \mathfrak{n}) \times \frac{1}{\mathfrak{n}} - \frac{k}{2} \frac{1}{\mathfrak{r}} \times \mathfrak{e}_0 \times \frac{1}{\mathfrak{n}} .$$

Ist das elektrostatische Feld $\mathfrak{e}_0$ hinreichend homogen ($\nabla ; \mathfrak{e}_0 = 0$) so folgt

63*a*) $$\frac{1}{\mathfrak{r}_3} = - \frac{k}{2} \frac{1}{\mathfrak{r}} \times \bar{\mathfrak{e}}_0 \times \frac{1}{n} = - \frac{1}{2 C} \frac{1}{\mathfrak{r} . \nabla \gamma} \bar{\mathfrak{e}}_0 .$$

Hierin bedeutet $\mathfrak{r}$ den Krümmungsradius der Wellenfläche und $\bar{\mathfrak{e}}_0$ die transversale (ablenkende) Komponente der Feldstärke $\mathfrak{e}_0$. Der Krümmungsradius der Wellennormale $\mathfrak{r}_3$ hat also, da k positiv ist, wenn die Wellenfläche nach vorne konvex ist $(\mathfrak{r}\cdot\nabla\gamma > 0)$ die entgegengesetzte Richtung, wie die ablenkende transversale Kraft $\bar{\mathfrak{e}}_0$. Diese Kathodenstrahlen werden also wieder von einem von der Seite genäherten positiv geladenen Körper abgestoßen, von einem negativen Körper angezogen, wie dies von mir beobachtet wurde.

31. Die umgekehrte, sogenannte normale elektrostatische und die von Hittorf entdeckte magnetische Ablenkung der parallelstrahligen elektrischen Longitudinalstrahlen durch ein gegebenes homogenes transversales Feld wurde von mir schon früher[1] ausführlich behandelt, so daß ich mich hier sehr kurz fassen kann.

Eine andere Ursache der Krümmung parallelstrahliger Longitudinalstrahlen als die in (62) angegebene gibt es nicht. Nur die Inhomogenität $\nabla;\mathfrak{e}_0$ des elektrostatischen Feldes $\mathfrak{e}_0$ kann eine Krümmung dieser Strahlen bewirken. Es folgt:

64) $$\frac{1}{\mathfrak{r}_3} = -\frac{B}{2\varepsilon_0}\,\mathfrak{c}\times(\nabla;\,\mathfrak{e}_0\cdot\mathfrak{n})\times\frac{1}{\mathfrak{n}}.$$

Das ablenkende transversale elektrische oder magnetische Feld $\mathfrak{m}_0$ bewirkt zunächst nur das Auftreten von transversalen elektrischen und magnetischen Schwingungskomponenten in dem Longitudinalstrahl. Die Amplitude $\mathfrak{m}'$ der letzteren bestimmt sich durch:

$$\mathfrak{m}'(-\varepsilon_0\,\mu_0\,p^2+c_0^2\,\mathfrak{q}^2) = c_0\,B\left(\frac{s_0}{p}-i\right)\mathfrak{q}\times\mathfrak{e}_0+\varepsilon_0\,B'p\left(\frac{s_0'}{p}-i\right)\mathfrak{m}_0+2\varepsilon_0\,F\left(1+i\,\frac{v_0}{p}\right)\mathfrak{m}_0.$$

Es ist dabei die Abhängigkeit des diamagnetischen Koeffizienten μ und der akzidentiellen Leitfähigkeit ξ von den stofflichen Variablen $\bar{\sigma}_i$ und $\bar{\tau}_i$ berücksichtigt.

$$\mu = \mu_0+\sum_i(\mu_1\,\bar{\sigma}+\mu_2\,\bar{\tau}),\quad \xi = \sum_i(\xi_1\,\bar{\sigma}+\xi_2\,\bar{\tau}).$$

Man erhält B' und s_0', beziehungsweise F und v_0 aus B und s_0, indem man μ_1, μ_2, beziehungsweise ξ_1, ξ_2 an die Stelle von ε_1, ε_2 in Gleichung (15), (15 *a*) setzt.

Nun muß die Integration des magnetischen Differentialgesetzes

II) $$\mu\,\frac{\partial\mathfrak{m}}{\partial t}+\frac{1}{2}\,\mathfrak{m}\,\frac{\partial\mu}{\partial t}+\xi\mathfrak{m} = -c_0\,\mathrm{rot}\,\mathfrak{e}$$

bis zu der zweiten Approximation weitergeführt werden. Die Glieder zweiter Ordnung

$$\bar{\mu}\,\frac{\partial\mathfrak{m}}{\partial t}+\frac{1}{2}\,\bar{\mathfrak{m}}\,\frac{\partial\mu}{\partial t}+\bar{\xi}\,\bar{\mathfrak{m}} = \mathfrak{M} = -c_0\,\mathrm{rot}\,\bar{\mathfrak{e}},$$

deren Summe wir den magnetischen Strom $\mathfrak{M}$ des Strahles nennen, haben den Mittelwert

65) $$\mathfrak{M}_0 = -c_0\,\mathrm{rot}\,\mathfrak{e}_0.$$

Es tritt also eine Inhomogenität des elektrostatischen Feldes auf, nämlich der von der Zeit unabhängige elektrische Wirbel rot $\mathfrak{e}_0$. Es ist

$$\mathfrak{M}_0 = \tfrac{1}{4}\,e^{-2\mathfrak{q}_2\cdot\mathfrak{r}}\left[\tfrac{i}{2}\,p\,(\mu'\,\mathfrak{m}''-\mu''\,\mathfrak{m}')+(\xi'\,\mathfrak{m}''-\xi''\,\mathfrak{m}')\right]$$

---

[1] Jaumann, Elektromagnetische Theorie, diese Sitzber. 117 (1908), p. 533—633.

und unter der vereinfachenden Voraussetzung, daß $B' = B$ und $s'_0 = s_0$ ergibt sich

66) $$\mathfrak{M}_0 = P\,(c_0\,\mathfrak{n} \times \mathfrak{e}_0 + 2\,\varepsilon_0\,\mathfrak{m}_0),\ \text{worin}$$

66a) $$P = \frac{2BF}{\varepsilon_0}\left(1 + \frac{v_0 s_0}{p^2}\right)\frac{E_m}{(c_0^2 - \varepsilon_0\,\mu_0\,\mathfrak{c}^2)} \quad \text{und} \quad E_m = \tfrac{1}{2}\,\varepsilon_0\,(\mathfrak{e}_1^2 + \mathfrak{e}_2^2).$$

Die Strahlkonstante F hat dasselbe Vorzeichen wie B, daher hat die Strahlkonstante P für alle (positiven und negativen) Longitudinalstrahlen dasselbe positive Vorzeichen, solange die Wellengeschwindigkeit $\mathfrak{c}$ derselben kleiner als die Lichtgeschwindigkeit c_0 ist.

32. Damit durch die Hinzufügung des variablen magnetischen Stromes c_0 rot $\bar{\mathfrak{e}}$ zu dem in erster Annäherung geltenden Integrale dieses ohne weiters die Differentialgesetze in zweiter Annäherung erfüllt, müssen die Vektoren $\bar{\mathfrak{e}}$ dieses elektrischen Wirbels, der selbst von zweiter Ordnung ist, von dritter Ordnung klein sein. Daher muß $\bar{\bar{\mathfrak{e}}}$ in der Mittellinie des betrachteten Strahlenbündels Null sein und dann ist umsomehr in derselben

67) $$\mathfrak{n}\,.\,\nabla;\,\bar{\bar{\mathfrak{e}}} = 0$$

was nur aussagt, daß sich $\bar{\bar{\mathfrak{e}}}$ in der Richtung $\mathfrak{n} = \nabla\gamma$ nicht ändert. Ist das eventuell gegebene elektrostatische Feld homogen, so ist $\nabla;\mathfrak{e}_0 = \nabla;\bar{\mathfrak{e}}$ und da $\mathfrak{n} \times \text{rot}\,\mathfrak{e}_0 = \mathfrak{n}\,.\,\mathfrak{e}_0;\nabla - \mathfrak{n}\,.\,\nabla;\,\mathfrak{e}_0$, so ergibt sich

68) $$\frac{1}{c_0}\,\mathfrak{n} \times \mathfrak{M}_0 = -\,\mathfrak{n}\,.\,\mathfrak{e}_0;\nabla.\ \text{Nach 66) folgt}$$

69) $$\nabla;\mathfrak{e}_0\,.\,\mathfrak{n} = \frac{1}{\mathfrak{c}^2}\,P\left(\mathfrak{e}_0 - \frac{2\,\varepsilon_0}{c_0}\,\mathfrak{c} \times \mathfrak{m}_0\right).$$

33. Nach (64) folgt nun:

70) $$\frac{1}{\mathfrak{r}_3} = \frac{1}{\mathfrak{c}^2}\,B\,P\left(\frac{1}{c_0}\,\mathfrak{c} \times \mathfrak{m}_0 - \frac{1}{2\,\varepsilon_0}\,\mathfrak{e}_0\right).$$

Hierdurch ist die Krümmung, welche parallelstrahlige Kathoden- und β-Strahlen, sowie Anoden-, Kanal- und α-Strahlen durch homogene transversale elektrische und magnetische Felder erfahren, allgemein und in Übereinstimmung mit der Erfahrung bestimmt. Insbesondere folgt aus (70), daß durch gleichgerichtete transversale elektrische, beziehungsweise magnetische Felder $\mathfrak{e}_0$, beziehungsweise $\mathfrak{m}_0$ Krümmungen, entstehen, welche auf einander senkrecht sind und deren Verhältnis der Strahlgeschwindigkeit $\mathfrak{c}$ proportional ist. Die Kaufmann'sche Methode liefert also auch nach meiner Theorie richtige relative Werte der Geschwindigkeit $\mathfrak{c}$ der Longitudinalstrahlen.

5. Strahlungsgleichgewicht und Strahlungsgesetz der elektrischen Longitudinalstrahlung.

34. Als Antikathodenstrahlen bezeichnen wir jene Longitudinalstrahlen, die sich im spitzen Winkel zu der positiven Feldstärke $\mathfrak{e}_0$ fortpflanzen, obwohl sie die hohen Schwingungszahlen ($p > p_{01}$) der gewöhnlichen Kathodenstrahlen haben. Während die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der rechtläufigen Kathodenstrahlen nach (21) der negativen Feldstärke $-e_0$ gerade proportional, also sehr groß ist, hat die Gegenstrahlung gleicher Schwingungszahl, das sind die gegenläufigen Antikathodenstrahlen im starken Felde sehr geringe Fortpflanzungsgeschwindigkeit, weil diese nach (21a) der positiven Feldstärke e_0 verkehrt proportional ist. Auch die Anodenstrahlen ($p < p_{02}$)

können von einer Gegenstrahlung gleicher Schwingungszahl, den Antianodenstrahlen, überdeckt werden, deren Fortpflanzungsgeschwindigkeit nach (21*a*) im starken Felde viel geringer ist. Wenn diese Gegenstrahlungen mit gleicher Amplitude wie die rechtläufigen Kathoden-, beziehungsweise Anodenstrahlen auftreten würden, so daß ihr Energieinhalt E^*_m derselbe ist, so ist doch ihr Energietransport $\mathfrak{c} E^*_m$, also ihre Wärmewirkung $\mathfrak{S}_m$ ihrer kleinen Fortpflanzungsgeschwindigkeit wegen sehr klein. Hingegen ist die ladende Wirkung dieser langsamen Gegenstrahlung im Verhältnis zu ihrer Intensität weit größer als jene der rechtläufigen Longitudinalstrahlung gleicher Schwingungszahl, denn der kohaerente Ladungsstrom $\mathfrak{L}_m$ ist nach (28) der reziproken Fortpflanzungsgeschwindigkeit proportional. Die Antikathodenstrahlen führen so wie die Kathodenstrahlen einen negativen Ladungsstrom mit sich, sind also als negative Strahlen zu bezeichnen. Die Antianodenstrahlen sind positive Strahlen. Die Gegenstrahlung hebt also die ladende Wirkung der rechtläufigen Strahlung gleicher Schwingungsdauer teilweise oder ganz auf, kann sie sogar umkehren, wofür die in § 2 erwähnte scheinbar positiv ladende Wirkung der Kathodenstrahlen ein Beispiel ist. Außerdem sind rechtläufige (elektrisch negativ gedämpfte) Gegenstrahlungen anderer Schwingungszahl zu berücksichtigen. Im Kathodenraume kommen rechtläufige positive Strahlen ($p < p_{02}$) vor, welche man nach ihrem Durchtritte durch die Kathode Kanalstrahlen nennt. Auch negative Kanalstrahlen wären im Anodenraum möglich.

35. Da die Longitudinalstrahlen ladende Wirkung haben, so gibt es kein Strahlungsgleichgewicht derselben im unelektrischen Felde. Der stationäre Strahlungszustand setzt nicht nur die Herstellung einer stationären Temperaturverteilung voraus, sondern es muß auch eine stationäre Verteilung der Ladungen, welche durch die Longitudinalstrahlen transportiert werden, erreicht sein. Wenn also auch anfänglich kein elektrostatisches Feld gegeben ist, aber die Anregungsbedingungen für Longitudinalstrahlen vorhanden sind, so schaffen sich diese selbst ihr dem stationären Strahlungsgleichgewichte entsprechendes elektrostatisches Feld. Hierdurch erklären sich die starken Ladungen, die an der Innenwand eines zugeschmolzenen Glasröhrchens auftreten, das ein Radiumsalz einschließt. Ferner gehören hierher die überaus charakteristischen Erscheinungen, welche das elektrische Anzünden der Kathodenstrahlen begleiten.[1]

Die gesetzmäßige Umschaffung des elektrostatischen Feldes durch die Kathodenstrahlung selbst ist augenscheinlich bei der Selbststreckung der Kathodenstrahlen (vergleiche weiter oben § 2).

Die stationären Ladungen der longitudinalen Hohlraumstrahlung haben ihren Sitz nicht nur auf den Elektroden und der Wand des Rezipienten, sondern können auch inmitten des verdünnten Gases auftreten. Das bekannteste Beispiel hierfür ist die starke positive Ladung der Grenzfläche des Kathodendunkelraumes, deren Entstehen völlig durch meine Theorie erklärt werden kann.[2]

Der kohaerente Ladungsstrom $\mathfrak{L}_m$, welcher einen Longitudinalstrahl im inhomogenen Feld begleitet, ist vor Erreichung des Strahlungsgleichgewichtes keineswegs in der ganzen Längserstreckung desselben konstant, so daß Aufladungen inmitten des verdünnten Gases vorkommen. Nach Herstellung des Strahlungsgleichgewichtes unter Mitwirkung der Gegenstrahlung muß aber der resultierende Ladungsstrom $\mathfrak{L}_0$ in der ganzen Längserstreckung der (eindimensionalen) Strahlung konstant sein.

Bezeichnet V das Emissionspotential, das ist die Potentialdifferenz der die Strahlung aussendenden, beziehungsweise auffangenden Elektrode, so ist der Energieaufwand $\mathfrak{L}_0 V$ notwendig, um die Ladung der Elektroden während der Strahlung aufrecht zu erhalten, welcher der Wärmewirkung $\mathfrak{S}_m$ der rechtläufigen Strahlung an der auffangenden Elektrode gleich ist, wenn wir von der geringen Wärmewirkung der Gegenstrahlung bei deren Auftreffen auf die die Hauptstrahlung aussendende Elektrode absehen. Es folgt also:

---

[1] Jaumann, Interferenz der Kathodenstrahlen, diese Sitzber. 107 (1898), p. 1002.

[2] Siehe Jaumann, Elektromagnetische Theorie, diese Sitzber. 117 (1908), p. 519.

71) $$\mathfrak{L}_0 V = \mathfrak{S}_m.$$

Die Gültigkeit dieser Beziehung wurde von J. J. Thomson, Seitz[1] u. a. in vielen Fällen nachgewiesen.

36. Man kann die Geschwindigkeit $\mathfrak{c}$ der im elektrischen Felde emittierten Longitudinalstrahlen nach ihrem Austritte in das unelektrische Feld nach der Kaufmann'schen Methode messen (vgl. § 33). Ist das unelektrische Feld nach außen zu unbegrenzt, so kann der in dasselbe austretende Longitudinalstrahl nicht mehr von einer merklichen Gegenstrahlung überdeckt sein. Dann muß der kohaerente Ladungsstrom $\mathfrak{L}_m$ dieses einfachen Strahles gleich sein dem resultierenden stationären Ladungsstrome $\mathfrak{L}_0$ des Strahlungsgleichgewichtes in dem emittierenden elektrischen Felde $\mathfrak{L}_m = \mathfrak{L}_0$. Der Ladungsstrom $\mathfrak{L}_m$ steht aber zu der Wärmewirkung $\mathfrak{S}_m$ des einfachen Strahles in der Beziehung (vgl. § 25)

72) $$\mathfrak{c}^2 \mathfrak{L}_m = \phi\, \mathfrak{S}_m$$ Aus 72) und 71) folgt:

73) $$\mathfrak{c}^2 = \phi V.$$

Das Quadrat der Strahlgeschwindigkeit des aus dem elektrischen Felde ausgetretenen Strahles ist dem Emissionspotèntial proportional. Der Proportionalitätsfaktor ist die charakteristische Strahlkonstante ϕ. Auch das Resultat der Versuche von Des Coudres und Lenard über eine angebliche »Beschleunigung oder Verzögerung« der Kathodenstrahlen durch ein longitudinal wirkendes elektrostatisches Feld erklärt sich durch Gl. 73). Die Beziehung (72) und daher das Strahlungsgesetz (73) gilt nur für homogene Strahlen. Tatsächlich sind die elektrisch emittierten Kathodenstrahlen sehr homogen, sie lassen sich auch durch starke magnetische Ablenkung nicht merklich dispergieren.

37. Verschiebungsgesetz der Kathodenstrahlung. Die Geschwindigkeit eines Longitudinalstrahles im unelektrischen Felde hängt ausschließlich von seiner Schwingungszahl p ab, und zwar ist nach (22)

$$\mathfrak{c}^2 = \frac{A}{\mathfrak{e}_0} = \frac{1}{\mathfrak{e}_0} p^2 \sum_i \frac{\frac{a^2}{e} + \frac{b^2}{m}}{p^2 - p_0^2}.$$

Das gleiche gilt für die Strahlkonstante ϕ, und zwar ist nach (51)

74) $$\phi = -\frac{B s_0}{\mathfrak{e}_0} = \frac{1}{2\,\mathfrak{e}_0} p^2 \sum_i \frac{\mathfrak{e}_1 \frac{br}{me} + \mathfrak{e}_2 \frac{as}{em}}{p^2 - p_0^2}.$$

Das Strahlungsgesetz (73) gibt also eine Beziehung zwischen dem Emissionspotential V und der Schwingungszahl p der elektrisch emittierten Longitudinalstrahlen, und zwar in der Form

75) $$V = -\frac{A}{B s_0}.$$

Bei gegebenem Emissionspotential V ist durch (75) die Schwingungszahl p des emittierten Kathodenstrahls (eindeutig oder mehrdeutig) bestimmt. Hieraus erklärt sich die Homogenität der elektrisch emittierten Kathodenstrahlen.

38. Diffuse Kathodenstrahlung. Obige Ableitungen gelten für eindimensionale (parallelstrahlige) Strahlungen. Bei gegebenem Emissionspotential V und gegebener Anregung von Kathodenstrahlen aller Schwingungszahlen an der Kathode, werden nur jene Kathodenstrahlen, deren Schwingungszahl p dem Verschiebungsgesetze (75) entspricht, parallelstrahlig aus dem elek-

[1] Seitz, Ann. d. Phys. 8, 329 (1902).

trischen Felde austreten, alle anderen Schwingungszahlen können von der Kathode im Strahlungsgleichgewichte nur diffus oder gar nicht emittiert werden.

39. Größe des normalen Kathodengefälles. Für sehr hohe Werte der Schwingungszahl p (gewöhnliche Kathodenstrahlen) nähern sich $\mathfrak{c}^2$ und ψ asymptotisch den Werten

$$\mathfrak{c}_0^2 = \frac{1}{\mathfrak{s}_0} \sum_i \left(\frac{a^2}{e} + \frac{b^2}{m}\right) \text{ bezw. } \psi = \psi_0 = \frac{1}{2\,\mathfrak{s}_0} \sum_i \left(\mathfrak{s}_1 \frac{br}{me} + \mathfrak{s}_2 \frac{as}{em}\right).$$

Nach dem Strahlungsgesetze (74) ist das Emissionspotential V für $p = p_{01}$ gleich $-\infty$, nimmt mit wachsender Schwingungszahl numerisch ab und nähert sich dem Grenzwerte

76) $$V_0 = \frac{\mathfrak{c}_0^2}{\psi_0},$$

unter welchen es nicht sinken kann. Unterhalb dieser Spannung (des sogenannten normalen Kathodengefälles) können keine Kathodenstrahlen emittiert werden. In einem Gase, in welchem das normale Kathodengefälle $0 \cdot 5$ $(c \cdot g \cdot s)$ beträgt und in welchem $\frac{1}{2}\,\psi_0 = 5 \cdot 7 \times 10^{17}$ (c. g. s.) ist, folgt als untere Grenze $\mathfrak{c}_0$ der Strahlgeschwindigkeit der Kathodenstrahlen: $\mathfrak{c}_0 = 7 \cdot 5 \times 10^8$ cm/sec. $= 0 \cdot 025$ der Lichtgeschwindigkeit. Selbstverständlich bieten obige Beziehungen auch die Möglichkeit, die Schwingungszahlen p der Longitudinalstrahlen annähernd zu bestimmen.

40. Das zweite Wien'sche Gesetz der Wärmestrahlung gibt den Zusammenhang zwischen dem Maximum des Emissionsvermögens und der Temperatur des schwarzen Körpers. Das analoge Gesetz für ein strahlendes Gas könnte durch bolometrische Messungen nicht festgestellt werden, denn der Bolometerstreifen nimmt die ganze Spektrallinie auf, deren Wärmewirkung aber nicht nur von dem Maximum der Lichtintensität, sondern auch von der Breite der Spektrallinie abhängt. Dieselbe Schwierigkeit besteht bezüglich der direkten experimentellen Bestimmung des analogen Strahlungsgesetzes für die sehr homogene elektrisch emittierte Kathodenstrahlung. Doch steht ein indirektes Mittel zur Verfügung, die Intensität $\mathfrak{s}_m$ oder den Energieeinhalt $E_m = \mathfrak{s}_m \cdot \mathfrak{u}$ der Longitudinalstrahlen zu bestimmen, und zwar aus der magnetischen Ablenkbarkeit derselben nach Gl. (70). Die Strahlkonstante BP ist nämlich nach (66a) dem Energieinhalte E_m des Strahles proportional und da die magnetische Ablenkbarkeit nur von der Schwingungszahl p des Strahles abhängen dürfte, so ist damit die Abhängigkeit der Intensität des nahezu monochromatischen Strahles von der Schwingungszahl desselben bestimmt. Nach der Elektronentheorie soll die Beziehung

77) $$BP = \tfrac{1}{2}\,\psi$$

bestehen, in welcher vom Standpunkte meiner Theorie das Gesetz für die maximale Intensität der negativen Strahlung implizit enthalten wäre.

41. Integralgesetz der negativen Strahlung. Während die nur aus der magnetischen Ablenkbarkeit der Strahlen bestimmbare maximale Intensität $\mathfrak{s}_m$ (also die maximale Ordinate der Emissionskurve) von den Emissionsbedingungen nur insofern abhängt, als diese die Schwingungszahl p des ausgesendeten Kathodenstrahls (der wenig verbreiterten Spektrallinie im Spektrum der negativen Strahlung) bestimmen, hängt die mit dem Bolometer meßbare Gesamtintensität W der emittierten Strahlen (die Fläche der Emissionskurve) in so hohem Maße von den Anregungsbedingungen dieser Strahlen ab, daß Gesetzmäßigkeiten nach Art des Stephan-Boltzmann'schen Gesetzes der Wärmestrahlung noch nicht aufgefunden wurden. Während die Geschwindigkeit $\mathfrak{c}$ der Kathodenstrahlen bei steigendem Emissionspotential V stets steigt und ihre Schwingungszahl p und die maximale Intensität $\mathfrak{s}_m$ derselben stets sinkt, verbreitert sich zunächst die Emissionskurve so stark, daß die Gesamtintensität W der emittierten Strahlen mit steigendem Emissionspotential V zunächst steigt. Nach Überschreitung eines Maximums sinkt aber die Gesamtintensität W, wenn das Emis-

sionspotential weiter steigt so stark, daß es nicht möglich ist, durch Erhöhung des Emissionspotentials elektrisch emittierte Kathodenstrahlen von der hohen Geschwindigkeit, der niedrigen wenig über der Eigenschwingungszahl p_{01} liegenden Schwingungszahl und den anderen Eigenschaften der β-Strahlen zu erhalten.

6. Die stofflichen Eigenschwingungen. Ionisierung der Gase.

42. Der Kathodendunkelraum. Die Stärke der Lumineszenzwirkung eines elektrischen Longitudinalstrahles hängt von der Amplitude der Schwingungen der stofflichen Variablen σ_i und τ_i ab, welche derselbe erregt und daher von der Amplitude D der elektrischen Divergenzwelle (vgl. § 15) des Strahles, welche durch

$$D^2 = p^2 n^2 (1+\varkappa^2)(\mathfrak{e}_1^2+\mathfrak{e}_2^2).$$

Nun ist nach (16) und (17) $n^2 (1+\varkappa^2) = \dfrac{\varepsilon_0}{A-\dfrac{B e_0}{n}} = \dfrac{\varepsilon_0}{A}\,\dfrac{s_0+p\varkappa}{s_0-p\varkappa}$.

Im unelektrischen Felde ist $\varkappa = 0$ und daher $D^2 = \varepsilon_0\, p^2\, (\mathfrak{e}_1^2+\mathfrak{e}_2^2)/A$.

Im elektrischen Felde ist $\varkappa < 0$ und erreicht im sehr starken elektrostatischen Felde wo $y = -\frac{1}{2}$ den Grenzwert (vgl. § 11) $\varkappa = -s_0/p$. Im elektrischen Felde ist also die Amplitude D der Divergenzwelle und der stofflichen Schwingungen cet. par. kleiner und im sehr starken elektrischen Felde verschwindend klein. Hieraus erklärt sich, daß die Kathodenstrahlen nur in dem fast unelektrischen kathodenfernen Felde die blaue Lumineszenz der verdünnten Luft erregen, während der Kathodenraum, der das starke elektrische Feld enthält, dunkel bleibt.

43. Der Stark'sche Dopplereffekt. Die kohaerenten stofflichen Schwingungen, welche die elektrischen Longitudinalstrahlen mit sich führen, wirken als mit der Strahlgeschwindigkeit sich fortpflanzende Licht- (Lumineszenz-)quellen, woraus sich der von Stark beobachtete Dopplereffekt im Lumineszenzlicht der Kanalstrahlen und Anodenstrahlen erklärt.[1]

44. Ionisierung der Gase. Ionisierte Gase sind vom Standpunkte meiner Theorie Gase, in welchen sich lebhafte stehende (räumlich ziemlich homogen verteilte) stoffliche Eigenschwingungen etabliert haben:

$$\bar\sigma = \sigma_1\, e^{i p_0 t}, \quad \bar\tau = i\,\tau_2\, e^{i p_0 t}$$

Hierin bedeuten σ_1 und τ_2 die reellen Amplituden und p_0 die reelle Schwingungsdauer dieser Schwingung. Die Dämpfung dieser Schwingungen, welche das sehr gesetzmäßige Abklingen der Ionisierung bewirkt, ist so klein, daß sie zunächst nicht in Betracht gezogen zu werden braucht. Es ist nach den Differentialgesetzen $\mathrm{III}_i\,\mathrm{IV}_i$

$$\tau_2 = -p_0 \frac{c}{r}\, \sigma_1 .$$

Die elektrische Grundgleichung lautet für ein starkes elektrostatisches Feld $\mathfrak{e}_0$

$$I) \qquad \varepsilon_0 \frac{\partial \mathfrak{e}}{\partial t} + \frac{1}{2}\, \mathfrak{e}_0 \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \bar\gamma\, \mathfrak{e}_0 = 0.$$

Hierin ist $\bar\gamma = \gamma_1\, \bar\sigma + \gamma_2\, \bar\tau$ die akzidentielle Leitfähigkeit, welche Sinusschwingungen mit der komplexen Amplitude γ' um Null ausführt und also einen reinen Wechselstrom $\bar\gamma \mathfrak{e}_0$ bewirkt, der

---

[1] Siehe Jaumann, Elektromagnetische Theorie, Sitzber. 117 (1908), p. 473.

sich der Beobachtung völlig entzieht. Direkt beobachtbar sind nur die Wirkungen zweiter Ordnung. Auf diese hat aber, wie man sich leicht überzeugt, das Glied $\frac{1}{2}\mathfrak{e}\,\partial\varepsilon/\partial t$ keinen Einfluß, wir lassen dasselbe daher im folgenden konsequent außer acht. Der erwähnte Wechselstrom ist ein Verschiebungsstrom. Es tritt die elektrische Schwingung

$$\mathfrak{e} = \mathfrak{e}'\, e^{i p_0 t}$$

auf, deren Amplitude $\mathfrak{e}'$ sich nach I) durch

$$i p_0\, \varepsilon_0\, \mathfrak{e}' + \gamma'\, \mathfrak{e}_0 = 0$$

bestimmt. Es ist daher die elektrische Schwingung gerade um eine Viertelschwingungsdauer gegen die Schwingung von $\bar{\gamma}$ verschoben und es ist deshalb der Mittelwert des echten Leitungsstromes $\bar{\gamma}\bar{\mathfrak{e}}$ gleich Null. Die Amplituden der übrigen Variablen bestimmen sich aus der Amplitude σ_1:

78) $$\gamma' = \left(\gamma_1 - i p_0 \frac{e}{r} \gamma_2\right)\sigma_1, \qquad \varepsilon' = \left(\varepsilon_1 - i p_0 \frac{e}{r} \varepsilon_2\right)\sigma_1$$

$$\mathfrak{e}' = \frac{i}{\varepsilon_0 p_0}\gamma'\,\mathfrak{e}_0\,, \quad \left(\frac{\partial \mathfrak{e}}{\partial t}\right)' = + \frac{1}{\varepsilon_0}\gamma'\,\mathfrak{e}_0 = - \frac{1}{\varepsilon_0}\left(\gamma_1 - i p_0 \frac{e}{r}\gamma_2\right)\sigma_1\,\mathfrak{e}_0\,.$$

Nun berücksichtigen wir die Glieder zweiter Ordnung des elektrischen Differentialgesetzes I) (mit Weglassung von $\frac{1}{2}\bar{\mathfrak{e}}\frac{\partial \varepsilon}{\partial t}$): $\quad \bar{\varepsilon}\frac{\partial \mathfrak{e}}{\partial t} + \bar{\gamma}\bar{\mathfrak{e}} = c_0 \operatorname{rot} \mathfrak{m} = \mathfrak{L}^*\,.$

Dieser Strom $\mathfrak{L}^*$ ist der Entladungsstrom, sein Mittelwert $\mathfrak{L}_0^*$ ist der konstante Entladungsstrom pro Querschnittseinheit des Feldes $\mathfrak{e}_0$, der in dem ionisierten, d. i. in stehender stofflicher Eigenschwingung befindlichen Gase eintritt, so lange das Feld $\mathfrak{e}_0$ vorhanden ist. Das ionisierte Gas hat deshalb eine scheinbare Leitfähigkeit.

Da der Mittelwert des echten Leitungsstromes $\bar{\gamma}\bar{\mathfrak{e}}$ gleich Null ist, so ist der Mittelwert des Entladungsstromes $\mathfrak{L}_0^*$ gleich dem Mittelwerte des dielektrischen Verschiebungsstromes $\bar{\varepsilon}\,\partial\mathfrak{e}/\partial t$.

$$\mathfrak{L}_0^* = \frac{1}{4}\left(\varepsilon'\left(\frac{\partial \mathfrak{e}}{\partial t}\right)'' + \varepsilon''\left(\frac{\partial \mathfrak{e}}{\partial t}\right)'\right),$$

also ergibt sich $\quad \mathfrak{L}_0^* = h\,\sigma_1^2\,\mathfrak{e}_0\,,$ worin

79) $$h = \frac{1}{2\varepsilon_0}\left(\frac{e}{m}\varepsilon_2\gamma_2 - \varepsilon_1\gamma_1\right).$$

Die scheinbare Leitfähigkeit $h\sigma_1^2$ des homogen ionisierten Gases ist dem Quadrate der Amplitude σ_1 der stofflichen Eigenschwingung desselben proportional.

45. Elektrische Dämpfung der Ionisierung. Die Amplitude σ_1 wird aus den jetzt zu erörternden Gründen von der Zeit nicht unabhängig, sondern langsam veränderlich und auch räumlich nicht völlig homogen verteilt sein. Es ist $\sigma_1 = \sigma_0 f(t)$, worin σ_0 eine Funktion des Ortes ist, deren Gradient $\nabla\sigma_0$ also ein Maß der Stärke der Inhomogenität der räumlichen Verteilung der Ionisierung ist. Ferner müssen wir jetzt die Koppelung des elektrischen Differentialgesetzes I) an die stofflichen Differentialgesetze III, IV durch die Glieder $\nabla(a\sigma + b\tau)$ berücksichtigen. Letztere sind zufolge der Ionisierung periodisch veränderlich und bewirken daher aufgezwungene elektrische Schwingungen, welche als Strahlungsquellen wirken. Diese Aussendung von Strahlen geschieht auf Kosten der Energie der stofflichen Eigenschwingung, es entsteht hierdurch eine Dämpfung der Eigenschwingung, also ein Absinken der Ionisierung des Gases. Die Energie E der stofflichen Schwingung ist proportional σ_1^2. Der Energieinhalt E_m der ausgesendeten Strahlen ist ebenfalls σ_1^2, also auch E

proportional, andrerseits aber auch durch $\nabla\sigma_0$ bestimmt, weil die Gefälle $\nabla a\sigma$ die Emissionsursache sind. Der Energietransport oder Energiefluß der ausgesendeten Strahlen ist aber $\mathfrak{c}E_m$, worin $\mathfrak{c}$ die Strahlgeschwindigkeit ist und dieser Energietransport ist es, welcher die Fluxion der Energie E der stofflichen Eigenschwingung bewirkt. Man erhält also die Beziehung:

$$\frac{\partial E}{\partial t} = -kE\nabla\sigma_0 . \mathfrak{c},$$

worin k eine positive Materialkonstante ist. Die ausgesendeten Strahlen werden Schwingungszahlen haben, welche der Eigenschwingungszahl p_{01} oder p_{02} naheliegen, sie werden also β- und α- Strahlen sein. Die Geschwindigkeit dieser Longitudinalstrahlen ist aber im elektrischen Felde der Feldstärke $\mathfrak{e}_0$ proportional. Daher erhalten wir

$$\frac{\partial E}{\partial t} = -k_1 E\nabla\sigma_0 . \mathfrak{e}_0,$$

worin k_1 eine andere Materialkonstante ist. Da E proportional σ_1^2 ist, so folgt hieraus

80) $$\sigma_1 = \sigma_0 e^{-\frac{1}{2}k_1 \nabla\sigma_0 . \mathfrak{e}_0 t}.$$

Das elektrostatische Feld bewirkt daher eine Dämpfung der stofflichen Eigenschwingung welche der Feldstärke $\mathfrak{e}_0$ proportional und desto größer ist, je stärker die räumliche Inhomogenität $\nabla\sigma_0$ der Eigenschwingung ist. Hiedurch erklärt sich das rasche Absinken der Ionisierung eines Gases beim Anlegen eines elektrostatischen Feldes $\mathfrak{e}_0$.

46. Der Sättigungsstrom. Wenn durch eine vorhergehende kurze Bestrahlung des Feldes mit α-Strahlen eine Ionisierung σ_0 anfänglich gegeben ist und es wird nun das elektrostatische Feld $\mathfrak{e}_0$ darübergelagert, so tritt der Entladungsstrom $\mathfrak{L}_0^*$ auf. Wenn man das Feld $\mathfrak{e}_0$ konstant hält, so wird doch durch dasselbe die Ionisierung gedämpft und es hat daher die ganze durch die Querschnittfläche f fließende Elektrizitätsmenge I einen endlichen Grenzwert. Es ist nach (79)

$$I = f.\int_0^\infty \mathfrak{L}_0^* dt = hf.\mathfrak{e}_0 \int_0^\infty \sigma_1^2 dt.$$ Nach 80) ist weiter:

81) $$I = h\sigma_0^2 f.\mathfrak{e}_0 \int_0^\infty e^{-k_1\nabla\sigma_0 . \mathfrak{e}_0 t} = h\sigma_0 \frac{1}{k_1\nabla\sigma_0} .f.$$

Bei anfänglich gegebener Ionisierung σ_0 hängt also die durch ein elektrostatisches Feld überhaupt überführbare Elektrizitätsmenge I nicht von der Stärke $\mathfrak{e}_0$ dieses Feldes ab. Wir betrachten nun eine periodisch wieder einsetzende Ionisierungsursache (kurze Bestrahlung) im konstanten Felde $\mathfrak{e}_0$. Das Zeitintervall zwischen je zwei Exzitationen der Ionisierung sei τ, und diese Exzitationszeit τ sei wesentlich kleiner als die Schwingungsdauer der Drehspule des Ampermeters, so daß dieses den konstanten Mittelwert $\mathfrak{L}_{00}^*$ des mittleren Entladungsstromes $\mathfrak{L}_0^*$ anzeigt. Es ist nach (79) und (80)

82) $$\mathfrak{L}_{00}^* = \frac{1}{\tau}\int_0^\tau \mathfrak{L}_0^* dt = \frac{h\sigma_0^2}{k_1(\nabla\sigma_0)_s\tau}(1 - e^{-k_1\nabla\sigma_0 . \mathfrak{e}_0 t}).$$

Der Dauerstrom $\mathfrak{L}_{00}^*$ steigt für kleine Feldstärken $\mathfrak{e}_0$ proportional derselben.

$$\mathfrak{L}_{00}^* \doteq h\sigma_0^2\mathfrak{e}_0 .$$

Für große Feldstärken steigt der Strom langsamer als die Feldstärke und erreicht für hohe Feldstärken $\mathfrak{e}_0$ asymptotisch den Maximalwert:

83) $$\mathfrak{L}_{max}^* = \frac{h\sigma_0^2}{k_1(\nabla\sigma_0)_s\tau},$$

welcher nur von der Ionisierungsursache abhängt und welchen man den Sättigungsstrom nennt.

47. Abhängigkeit des Sättigungsstromes von der Elektrodendistanz. Die Aussendung von Longitudinalstrahlen durch die Inhomogenitäten $\nabla\sigma_0$ der Ionisierung hat nicht nur das Abklingen der Ionisierung im elektrostatischen Felde zur Folge, sondern es kommt auch die bisher nicht berücksichtigte entladende Wirkung dieser Strahlen, also ihr kohaerenter Ladungsstrom $\mathfrak{L}_m$ in Betracht. Diese Longitudinalstrahlen werden rechtläufig in dem Felde $\mathfrak{e}_0$ fortschreitend von demselben emittiert, das heißt negativ gedämpft und je länger ihr Weg in dem Felde ist, desto größer wird ihre Amplitude, mit deren Quadrat der kohaerente Ladungsstrom $\mathfrak{L}_m$ wächst, so daß letzterer desto größeren Anteil zu der Ausladung der Elektroden (zu dem in das Ampermeter fließenden Strome) beiträgt, je größer die Elektrodendistanz ist. Der kohaerente Ladungsstrom $d\mathfrak{L}_{m0}$ der Strahlen, welche pro Querschnittseinheit aus einer Schicht von der Dicke $d\mathfrak{r}$ in der rechtläufigen Richtung im Felde ausgesendet werden, ist

$$d\mathfrak{L}_{m0} = c\sigma_1^2\, d\mathfrak{r},$$

worin c eine Konstante ist, die von der Stärke der Inhomogenitäten $\nabla\sigma_0$ in dem Gebiete $d\mathfrak{r}$ abhängt. Die elektrische Dämpfung dieser Strahlen ist nach § 42): $\varkappa = -s_0/p$, sie langen also bei der Elektrode, von welcher wir die Distanz $\mathfrak{r}$ messen, mit dem Ladungsstrome:

$$d\mathfrak{L}_m = d\mathfrak{L}_{m0}\, e^{+2s_0\mathfrak{n}\cdot\mathfrak{r}}.$$

Ist r_0 die Distanz der beiden Elektroden, so ist der gesamte kohaerente Ladungsstrom $\mathfrak{L}_m$ aller Strahlen, welche auf eine derselben treffen

$$\mathfrak{L}_m = \int_0^{r_0} d\,\mathfrak{L}_m = C\sigma_1^2 \int_0^{r_0} e^{2s_0 n\, r}\, dr = \frac{C\sigma_1^2}{2s_0 n}\,(e^{2s_0 n\, r_0} - 1)\,. \tag{84}$$

Hierin ist C eine Konstante, die außer von c auch von dem Gesamtquerschnitt des Feldes in leicht berechenbarer Weise abhängt. Bei sehr kleiner Elektrodendistanz r_0 ist also dieser Entladungsstrom der Elektrodendistanz proportional

$$\mathfrak{L}_m \doteq C\sigma_1^2 r_0.$$

Bei Vergrößerung der Elektrodendistanz wächst nach (84) der Entladungsstrom $\mathfrak{L}_m$ mit einer Exponentialfunktion der Elektrodendistanz r_0, wie dies Townsend beobachtet hat.

II. Die höheren optischen Erscheinungen.

7. Dyadische Natur der stofflichen Variablen.

48. Als eine reale physikalische Variable soll eine Variable bezeichnet werden, deren Fluxion durch ein besonderes Naturgesetz bestimmt wird. Man kann auch eine Variable, welche durch eine Zustandsgleichung als Funktion mehrerer realer physikalischer Variablen gegeben ist, selbst eine reale physikalische Variable nennen, wenn sie in den Differentialgesetzen explizit auftritt. Die Erkenntnis, daß viele reale physikalische Variable Dyaden sind, hat die Bedeutung eines physikalischen Prinzips, das ist einer heuristisch wirksamen Voraussage über die Form der noch zu findenden Naturgesetze Viele Naturgesetze haben die Form dyadischer Gleichungen.[1] Die heuristische Wirkung dieses Prinzips der Realität der Dyaden ist eine sehr große. Unmittelbar aus demselben ergab sich die folgende Theorie der höheren optischen Erscheinungen.

[1] Jaumann, Sitzber. dieser Akademie, 116 (1907), p. 398 und 406.

49. Die erste Form meiner Theorie beruht auf der Erkenntnis, daß der dielektrische und diamagnetische Koefizient ε und μ Variable sind, deren Fluxionen durch Differentialgesetze von der Form III, § 1:

$$e \frac{d\varepsilon}{dt} + a \operatorname{div} \mathfrak{e} = 0$$

bestimmt werden. Aus der Form I, § 1 der Maxwell'schen Gleichungen ergibt sich ein starker Einfluß der statischen Feldstärken $\mathfrak{e}_0$ und $\mathfrak{m}_0$ auf longitudinale elektrische Wellen, aber nicht auf das transversale Licht, es blieb also die elektrische Doppelbrechung und magnetische Polarisationsdrehung unerklärt. Die Ursache liegt in der skalaren Form der Gleichung III, da die skalare Derivation div $\mathfrak{e}$ in transversalen Strahlen Null ist. Eine physikalische Variable, deren Anisotropie unter besonderen Bedingungen deutlich konstatiert werden kann, ist stets anisotrop, also eine reale Dyade oder Tetrade. Da die Elastizitätsmoduln der Kristalle Tetraden sind, sind auch die Elastizitätsmoduln der isotropen Medien (nahezu isotrope) Tetraden. Da der dielektrische Koeffizient der Krystalle eine Dyade ist, so ist der dielektrische Koeffizient aller, auch der isotropen Medien, niemals ein Skalar, sondern stets eine (nahezu isotrope) Dyade.

50. Die Differentialgesetze III_i und IV_i sind also dyadische Gesetze und haben die Form

III_i)
$$e_i : \frac{d\sigma_i}{dt} + c_i \bar{\sigma} + r_i \bar{\tau}_i + a_i \nabla , \mathfrak{e} + a_i' \nabla , \mathfrak{m} = 0$$

IV_i)
$$m_i : \frac{d\tau_i}{dt} + x_i \bar{\tau}_i + s_i \bar{\sigma}_i + b_i \nabla , \mathfrak{e} + b_i' \nabla , \mathfrak{m} = 0.$$

Hierin bedeutet zum Beispiel $a_i \nabla , \mathfrak{e} = a_{1i} \nabla ; \mathfrak{e} + a_{2i} \mathfrak{e} ; \nabla + a_{3i} \nabla . \mathfrak{e} I$

die allgemeine derivierte Dyade der elektrischen Vektorverteilung, worin a_{1i} a_{2i} und a_{3i} skalare Materialkoeffizienten sind. Bei der Bildung der Energiegleichung werden die Differentialgesetze III_i, beziehungsweise IV_i durch doppelte Multiplikation mit den Dyaden $\bar{\sigma}$:, beziehungsweise $\bar{\tau}$: skalar gemacht. Die stoffliche Energie hat den Wert

$$E_2 = \tfrac{1}{2} \sum_i (\bar{\sigma} : c : \bar{\sigma} + \bar{\tau} : \mathfrak{m} : \bar{\tau}).$$

Eine allgemeinere Annahme über die Energiefaktoren der dyadischen stofflichen Differentialgesetze und also über den Wert der stofflichen Energie geben wir weiter unten § 109, an.

51. Die allgemeinste Form des Systems von Differentialgesetzen, welches die höheren elektromagnetischen Erscheinungen in ruhenden nichtleitenden Medien darstellt, ist folgende:

I)
$$[\varepsilon] . \frac{\partial \mathfrak{e}}{\partial t} + \tfrac{1}{2} \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} . \mathfrak{e} + \sum_i (\alpha_i . \nabla . a_i \bar{\sigma}_i + \beta_i . \nabla . b_i \bar{\tau}_i) = c_0 \operatorname{rot} \mathfrak{m}$$

II)
$$[\mu] . \frac{\partial \mathfrak{m}}{\partial t} + \tfrac{1}{2} \frac{\partial \mu}{\partial t} \cdot \mathfrak{m} + \sum_i (\alpha_i' . \nabla . a_i' \bar{\sigma}_i + \beta_i' . \nabla . b_i' \bar{\tau}_i) = -c_0 \operatorname{rot} \mathfrak{e}$$

III_i)
$$e_i : \frac{d\sigma_i}{dt} + c_i \bar{\sigma}_i + r_i \bar{\tau}_i + a_i \nabla , \alpha_i \cdot \mathfrak{e} + a_i' \nabla , \alpha_i' . \mathfrak{m} = \nabla \times \varphi_i$$

IV_i)
$$m_i : \frac{d\tau_i}{dt} + x_i \bar{\tau}_i + s_i \bar{\sigma}_i + b_i \nabla , \beta_i \cdot \mathfrak{e} + b_i' \nabla , \beta_i' \cdot \mathfrak{m} = -\nabla \times \varphi_i'.$$

Hierin ist $[\varepsilon] = \frac{1}{2}(\varepsilon + \varepsilon_c)$, $[\mu] = \frac{1}{2}(\mu + \mu_c)$

85) $$\bar{\varepsilon} = \sum_i (\varepsilon_{1i}\,\mathfrak{z}_i + \varepsilon_{2i}\,\mathfrak{t}_i) \quad , \quad \bar{\mu} = \sum_i (\mu_{1i}\,\mathfrak{z}_i + \mu_{2i}\,\mathfrak{t}_i)$$

$$a_i\nabla, \alpha_i \cdot \mathfrak{e} = a_{1i}\nabla; (\alpha_{1i}\cdot\mathfrak{e}) + a_{2i}(\alpha_{2i}\cdot\mathfrak{e}); \nabla + a_{3i}\nabla\cdot(\alpha_{3i}\cdot\mathfrak{e})$$

$$\alpha_i \cdot \nabla \cdot a_i\,\mathfrak{z}_i = \alpha_{1i}\cdot\nabla\cdot a_{1i}.\mathfrak{z}_i + \alpha_{2i}\cdot\nabla\cdot a_{2i}\,\mathfrak{z}_{ic} + \alpha_{3i}\cdot\nabla\cdot a_{3i}\,\mathfrak{z}_{is}$$

52. Die Energiefaktoren der Gleichungen I, II, III_i, IV_i sind beziehungsweise

$$\mathfrak{e}\cdot \quad , \quad \mathfrak{m}\cdot \quad , \quad \mathfrak{z}_i: \quad , \quad \mathfrak{t}_i:$$

Die Fluxionsglieder ergeben die Fluxion der Energie pro Volumseinheit

$$E = E_1 + E_2, \text{ worin } E_1 = \tfrac{1}{2}(\mathfrak{e}\cdot\varepsilon\cdot\mathfrak{e} + \mathfrak{m}\cdot\mu\cdot\mathfrak{m})$$

die elektromagnetische Energie ist. Die Verwandlungsglieder (Schwingungs- und Dämpfungsglieder) der stofflichen Differentialgesetze III_i IV_i geben den Wert

$$Q = \sum_i (c_i\,\mathfrak{z}_i : \mathfrak{z}_i + x_i\,\mathfrak{t}_i : \mathfrak{t}_i + (r_i + s_i)\,\mathfrak{z}_i : \mathfrak{t}_i)$$

an die Energiegleichung ab, welcher die Wärmeproduktion pro Volums- und Zeiteinheit darstellt. Die räumlichen Derivationen des Gleichungssystems geben zusammen die Divergenz des Energieflusses $\mathfrak{S} = \mathfrak{S}_1 + \mathfrak{S}_2 + \mathfrak{S}_3$ an die Energiegleichung ab. Hierin ist $\mathfrak{S}_1 = c_0\,\mathfrak{e} \times \mathfrak{m}$ der Poynting'sche elektromagnetische Energiefluß. Ferner ist

$$\mathfrak{S}_2 = \sum_i ((a_i\,\mathfrak{z}_i\cdot\alpha_i + b_i\,\mathfrak{t}_i\cdot\beta_i)\cdot\mathfrak{e} + (a'_i\,\mathfrak{z}_i\cdot\alpha'_i + b'_i\,\mathfrak{t}_i\cdot\beta'_i)\cdot\mathfrak{m})$$

der elektrostoffliche Energiefluß, hierin bedeutet $a_i\,\mathfrak{z}_i\cdot\alpha_i = a_{1i}\,\mathfrak{z}_i\cdot\alpha_{1i} + a_{2i}\,\mathfrak{z}_{ic}\cdot\alpha_{2i} + a_{3i}\,\mathfrak{z}_{is}\cdot\alpha_{3i}$.

53. Die rotorisch-dyadischen Derivationen der rechten Seite von III_i und IV_i

$$\nabla \times \varphi_i \quad \text{und} \quad -\nabla \times \varphi'_i$$

spielen in der Theorie der höheren optischen Erscheinungen keine Rolle. Dieselben bestimmen aber alle diffusionsartigen Erscheinungen (eigentliche Diffusion, Wärmeleitung, Diffusion der Ionisation, diffusionsartiger Ausgleich von Anomalien des Gravitationsfeldes) und werden deshalb weiter unten im Abschnitt IV und VI, § 102, 121, 154—157 eingehend berücksichtigt werden. Es sind φ_i und φ'_i lineare homogene Funktionen der Abweichungen $\mathfrak{z}_i$ $\mathfrak{t}_i$ der stofflichen Variablen und anderer dyadischer Variablen von ihren Ruhewerten. Im einfachsten Falle haben dieselben die Form

$$\nabla \times \varphi_i = \nabla \times n_i\,\mathfrak{t}_i \quad \text{und} \quad -\nabla \times \varphi'_i = -n_i \nabla \times \mathfrak{z}_i.$$

Dann bestimmen diese rotorischen Derivationen die diffusionsartige Ausbreitung und Ausgleichung der räumlichen Inhomogenitäten der Ionisation (der stofflichen Eigenschwingungen)[1]. Nach Multiplikation mit den Energiefaktoren geben diese rotorischen Glieder den Betrag

$$\mathfrak{z}_i : \nabla \times n_i\,\mathfrak{t}_i - n_i\,\mathfrak{t}_i : \nabla \times \mathfrak{z}_i = \text{div}\; n_i\,\mathfrak{z}_i \overset{\times}{\cdot} \mathfrak{t}_i$$

an die Energiegleichung ab, welcher die Divergenz des rein stofflichen Energieflusses $\mathfrak{S}_3$ bildet:

$$\mathfrak{S}_3 = -n_i\,\mathfrak{z}_i \overset{\times}{\cdot} \mathfrak{t}_i$$

[1] Genaueres hierüber siehe Jaumann, Elektromagnetische Theorie, diese Sitzber. 117 (1908), p. 383.

54. Allgemeine elektrostoffliche Wellen. Wir gehen im folgenden wieder von dem komplexen Integrale

$$\mathfrak{e} = \mathfrak{e}' e^{i\varphi} \;,\; \mathfrak{m} = \mathfrak{m}' e^{i\varphi} \;,\; \bar{\sigma} = \bar{\sigma}' e^{i\varphi} \;,\; \bar{\tau} = \bar{\tau}' e^{i\varphi}$$

$$\mathfrak{e}' = \mathfrak{e}_1 + i\,\mathfrak{e}_2 \;,\; \mathfrak{m}' = \mathfrak{m}_1 + i\,\mathfrak{m}_2 \;,\; \bar{\sigma}' = \sigma_1 + i\,\sigma_2 \;,\; \bar{\tau}' = \tau_1 + i\,\tau_2$$

aus, worin $\varphi = \mathfrak{q}\cdot\mathfrak{r} - pt$ die komplexe Phase der Welle, p die reelle Schwingungszahl und $\mathfrak{q} = \mathfrak{q}_1 + i\,\mathfrak{q}_2$ ist. Der reelle Vektor $\mathfrak{q}_1$ soll die Hemmung der Welle genannt werden, derselbe fällt in die Richtung der Fortpflanzung oder Wellennormale. Der reelle Vektor $\mathfrak{q}_2$ soll die Dämpfung der Welle genannt werden, derselbe fällt in die mit der Fortpflanzungsrichtung im allgemeinen nicht zusammenfallende Dämpfungsrichtung oder Normale der Amplitudenebenen. Wir berücksichtigen in der Rechnung meist nur eines der Paare III_i, IV_i der stofflichen Differentialgesetze und lassen den Index i weg. Die Verallgemeinerung ergibt sich ohneweiters und wird an geeigneter Stelle durch Summen über den Index i eingeführt werden. Durch Einsetzen dieses Integrals in die Gleichungen III_i, IV_i ergeben sich die Amplituden der stofflichen Ströme

$$e^{-i\varphi} D \nabla\cdot(\alpha\,\bar{\sigma} + \beta\,\bar{\tau}) = -i\,p\,\mathfrak{q};\mathfrak{q}\cdot(u_1\,\mathfrak{e}' + u_1'\,\mathfrak{m}') - i\,p\,\mathfrak{q}^2\,(u_2\,\mathfrak{e}' + u_2'\,\mathfrak{m}') + \\ + \mathfrak{q};\,\mathfrak{q}\cdot(v_1\,\mathfrak{e}' + v_1'\,\mathfrak{m}') + \mathfrak{q}^2\,(v_2\,\mathfrak{e}' + v_2'\,\mathfrak{m}').$$

$$e^{-i\varphi} D \nabla\cdot(\alpha'\,\bar{\sigma} + \beta'\,\bar{\tau}) = -i\,p\,\mathfrak{q};\,\mathfrak{q}\cdot(u_1''\,\mathfrak{m}' + u_1'\,\mathfrak{e}') - i\,p\,\mathfrak{q}^2\,(u_2''\,\mathfrak{m}' + u_2'\,\mathfrak{e}') + \\ + \mathfrak{q};\mathfrak{q}\cdot(v_1''\,\mathfrak{m}' + v_1^*\,\mathfrak{e}') + \mathfrak{q}^2\,(v_2''\,\mathfrak{m}' + v_2^*\,\mathfrak{e}').$$

Die Werte der Konstanten u und v wurden anderen Ortes[1] ausführlich angegeben. Es wurden hierbei der Einfachheit wegen die skalare Konstante a und die dyadische Konstante α der Derivation $a\nabla, \alpha\cdot\mathfrak{e}$, beziehungsweise $\alpha\cdot\nabla\cdot a\,\bar{\sigma}$ in eine skalare Konstante α zusammengezogen, so daß diese Derivationen die Form $\alpha\nabla, \mathfrak{e}$ und $\nabla\cdot\alpha\,\bar{\sigma}$ haben und ebenso die analogen Derivationen. Die Determinante $D = D_1 + i\,D_2$ bestimmt sich durch:

$$D_1 = -e\,m\,p_2 - r\,s + c\,x = e\,m\,(p_0^2 - p^2) + c\,x,\; D_2 = -p\,(e\,x + m\,c).\quad \text{Hierin ist } p_{0i}^2 = -\frac{r_i\,s_i}{e_i\,m_i},$$

die zu dem Paare III_i, IV_i von stofflichen Differentialgesetzen gehörende Eigenschwingungszahl des Mediums. Die Maxwell'schen Komponenten der Verschiebungsströme haben die Amplituden $\varepsilon_0\cdot(\partial\mathfrak{e}/\partial t)' = -i\,p\,\varepsilon_0\,\mathfrak{e}'$ und $\mu_0\,(\partial\mathfrak{m}/\partial t)' = -i\,p\,\mu_0\,\mathfrak{m}'$. Die Amplituden der von den Fluxionen der stofflichen Variablen abhängenden Komponenten der Verschiebungsströme, welche nur im starken elektrostatischen Felde $\mathfrak{e}_0$, beziehungsweise magnetostatischem Felde $\mathfrak{m}_0$ merklich sind, haben den Wert:

$$e^{-i\varphi} D\,\frac{1}{2}\,\frac{\partial\varepsilon}{\partial t}\cdot\mathfrak{e}_0 = \mathfrak{q}\,(g_1\,\mathfrak{e}'\cdot\mathfrak{e}_0 + g_1'\,\mathfrak{m}'\cdot\mathfrak{e}_0) + \mathfrak{q}\cdot\mathfrak{e}_0\,(g_2\,\mathfrak{e}' + g_2'\,\mathfrak{m}') + \mathfrak{e}_0\,(g_3\,\mathfrak{q}\cdot\mathfrak{e}' + g_3'\,\mathfrak{q}\cdot\mathfrak{m}')$$

$$e^{-i\varphi} D\,\frac{1}{2}\,\frac{\partial\mu}{\partial t}\cdot\mathfrak{m}_0 = \mathfrak{q}\,(h_1\,\mathfrak{e}'\cdot\mathfrak{m}_0 + h_1'\,\mathfrak{m}'\cdot\mathfrak{m}_0) + \mathfrak{q}\cdot\mathfrak{m}_0\,(h_2\,\mathfrak{e}' + h_2'\,\mathfrak{m}') + \mathfrak{m}_0\,(h_3\,\mathfrak{q}\cdot\mathfrak{e}' + h_3'\,\mathfrak{q}\cdot\mathfrak{m}').$$

Hierin ist nach (85) ($\nu = 1, 2, 3$)

$$g_\nu = \frac{\varepsilon_1}{2}\,y_\nu + \frac{\varepsilon_2}{2}\,z_\nu \;,\; g_\nu' = \frac{\varepsilon_1}{2}\,y_\nu' + \frac{\varepsilon_2}{2}\,z_\nu',\; h_\nu = \frac{\mu_1}{2}\,y_\nu + \frac{\mu_2}{2}\,z_\nu \;,\; h_\nu' = \frac{\mu_1}{2}\,y_\nu' + \frac{\mu_2}{2}\,z_\nu'$$

$$y_\nu = i\,\alpha_\nu\,m\,p^2 + (\beta_\nu\,r - \alpha_\nu\,x)\,p \;,\; y_\nu' = i\,\alpha_\nu'\,m\,p^2 + (\beta_\nu'\,r - \alpha_\nu'\,x)\,p$$

$$z_\nu = i\,\beta_\nu\,e\,p^2 + (\alpha_\nu\,s - \beta_\nu\,c)\,p \;,\; z_\nu' = i\,\beta_\nu'\,e\,p^2 + (\alpha_\nu'\,s - \beta_\nu'\,c)\,p.$$

[1] Diese Sitzber. 117, p. 418.

55. Verallgemeinerung für mehrere Eigenschwingungen. In diesem Falle treten statt der Faktoren $\frac{u_1}{D}$, $\frac{u_1'}{D}$ und $\frac{g_1}{D}$, $\frac{g_1'}{D}$ die Faktoren $\sum_i \frac{u_{1i}}{D_i}$, $\sum_i \frac{u_{1i}'}{D_i}$ und $\sum_i \frac{g_{1i}}{D_i}$, $\sum_i \frac{g_{1i}'}{D_i}$ etc. (und ebenso die analogen Faktoren) in obigen Amplitudengleichungen auf.

8. Theorie der Dispersion und Absorption des Lichtes und der natürlichen Drehung der Polarisationsebene.

56. Transversale Wellen bei Abwesenheit starker elektromagnetischer Felder. Transversal (im weitesten Sinne) nennen wir die Welle, wenn die skalaren Produkte der komplexen Vektoren $\mathfrak{q}\cdot u\cdot \mathfrak{e}' = 0$ und $\mathfrak{q}\cdot \mu_0\, \mathfrak{m}' = 0$ sind. ε_0 ist in Krystallen dyadisch, μ_0 soll aber isotrop sein. Die Konstanten u_1, u_2, v_1, v_2 sollen von Null verschieden und in Kristallen dyadisch sein, sich aber in jedem Kristalle voneinander nur durch skalare Faktoren unterscheiden. Jedoch braucht ε_0 in monoklinen und triklinen Kristallen nicht dieselben Hauptrichtungen wie u_1 zu haben. In isotropen Medien können wir alle Konstanten u und v als von Null verschieden ansehen und ist für transversale Wellen $\mathfrak{q}\cdot\mathfrak{e}' = 0$, $\mathfrak{q}\cdot\mathfrak{m}' = 0$. Durch Einsetzen des komplexen Integrals in die Differentialgesetze I und II und Elimination der magnetischen Amplitude $\mathfrak{m}'$ erhält man folgende Bedingungsgleichung für die elektrische Amplitude $\mathfrak{e}'$:

86) $$[D^2 (p^2 \varepsilon_0 \mu_0 + c_0^2\, \mathfrak{q} \times \mathfrak{q}) + D\, \mathfrak{q}^2 (p^2 U_2 + i p V_2) + i D\, \mathfrak{q}^2 (\mathfrak{q} \times I)\, V_2' + \mathfrak{q}^4 (U_2'' - V_2'' + i p W_2)] \cdot \mathfrak{e}' = 0$$

Hierin können die sechs Konstanten:

$$\frac{U_2}{D} = \sum_i \frac{1}{D_i} (\varepsilon_0 u_{2i}'' + \mu_0 u_{2i}), \quad \frac{V_2}{D} = \sum_i \frac{1}{D_i} (\varepsilon_0 v_{2i}'' + \mu_0 v_{2i}), \quad \frac{V_2'}{D} = \sum_i \frac{c_0}{D_i} (v_{2i}' - v_{2i}^*)$$

$$\frac{U_2''}{D^2} = \sum_i \frac{1}{D_i^2} (u_{2i} u_{2i}'' - u_{2i}'^2), \quad \frac{V_2''}{D^2} = \sum_i \frac{1}{D_i^2} (v_{2i} v_{2i}'' - v_{2i}'^2), \quad \frac{W_2}{D^2} = \sum_i \frac{1}{D_i^2} (u_{2i} v_{2i}'' + v_{2i} u_{2i}'' - u_{2i}' (v_{2i}' + v_{2i}^*))$$

als 6 frei verfügbare Materialkonstante betrachtet werden, welche die höheren optischen Erscheinungen bestimmen. Es soll jedoch der Einfachheit wegen angenommen werden, daß in allen Medien $U_2'' = V_2'' = W_2 = 0$ ist.

57. Optisch inaktive und nicht absorbierende isotrope Medien. Wir betrachten zunächst Medien, für welche $V_2 = 0$, $V_2' = 0$ und $D_{2i} = 0$. Dann ist die Lichtwelle ungedämpft und es ist $\mathfrak{q} = p\,\mathfrak{n}$, worin $\mathfrak{n}$ die reelle reziproke Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist.

Die Bedingung (86) nimmt die einfache Form an: $D (\varepsilon_0 \mu_0 - c_0^2 \mathfrak{n}^2) + p^2 \mathfrak{n}^2 U_2 = 0.$

Hieraus ergibt sich das Dispersionsgesetz:

87) $$\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n_0^2} = \sum_i \frac{1}{e_i m_i} \left(\frac{u_{2i}''}{\mu_0} + \frac{u_{2i}}{\varepsilon_0}\right) \frac{p^2}{p_{0i}^2 - p^2} \text{ oder } \frac{1}{n^2} - \frac{1}{n_0^2} = \sum_i \frac{k_i}{\lambda_{0i}^2 - \lambda^2},$$

worin die k_i Materialkonstante sind. Es ist n der Brechungsexponent für die Schwingungszahl p, n_0 der Brechungsexponent oder die reziproke Fortpflanzungsgeschwindigkeit für $p = 0$, also für die langwelligsten Hertz'schen Strahlen. Das Dispersionsgesetz von Ketteler, Helmholtz und Drude lautet hingegen:

88) $$n_0^2 - n^2 = \sum_i \frac{k_i}{\lambda_{0i}^2 - \lambda^3} .$$

In beiden Gesetzen bedeutet $\lambda_{0i} = 1/p_{0i}$, $\lambda = 1/p$. Die Dispersionsgesetze (87) und 88) widersprechen sich. Der Unterschied tritt besonders in der Nähe der Eigenwellenlänge λ_{0i} hervor, bei welcher nach meiner Theorie die Fortpflanzungsgeschwindigkeit unendlich ($n = 0$) ist, während sie nach den älteren Theorien Null ($n = \infty$) sein sollte. Ich habe[1] gezeigt, daß meine Dispersionsformel (87) die Dispersion des Sylvins im sichtbaren und dem ganzen ultraroten Spektrum bis zu den Rubens'schen Reststrahlen ($\lambda_{01} = 61\mu$) vorzüglich darstellt, wenn man für die Eigenwellenlänge den Wert $\lambda_{0i}^2 = 3743\,\mu^2$ statt des von Rubens für die Reststrahlen des Sylvins direkt beobachteten Wertes $\lambda_{0i}^2 = 3733\,\mu^2$ annimmt. Drude[2] erreicht den Anschluß der Ketteler-Helmholtz'schen Dispersionsformel an die Dispersionsbeobachtungen mit Sylvin im Ultrarot nur dadurch einigermaßen, daß er statt des direkt von Rubens beobachteten Wertes $\lambda_{0i}^2 = 3733\,\mu^2$ den ganz falschen Wert für die Wellenlänge λ_{01} der Reststrahlen des Sylvins $\lambda_{0i}^2 = 4517\,\mu^2$ annimmt. Hieraus ist zu ersehen, daß die Ketteler-Helmholtz'sche Dispersionsformel unrichtig und meine Dispersionsformel richtig ist. Der Sylvin hat, wie alle anderen Medien, noch eine zweite Eigenschwingung im Ultraviolett ($\lambda_{02} = 0.17\,\mu$). Die dadurch bewirkte Aufbiegung der Dispersionskurve im Ultraviolett habe ich in meiner ersten Mitteilung mich mit Unrecht bemüht, anders zu erklären. Damals hielt ich noch ε und μ für reale physikalische Variable und mußte deshalb mit einer einzigen stofflichen Eigenschwingung auszukommen trachten, während jetzt nach Einführung der realen Variablen $\sigma_i\ \tau_i$ eine beliebige Anzahl von Eigenschwingungen mit den Schwingungszahlen p_{0i} für jedes Medium angenommen werden kann.

58. Optisch aktive und nicht absorbierende Medien. Wir betrachten nun Medien, für welche nur $V_2 = 0$ und $D_{2i} = 0$ ist, während V_2' von Null verschieden ist. Setzt man

$$\mathfrak{c}_0'^2 = \mathfrak{c}_0^2 - \frac{p^2}{\varepsilon_0 \mu_0} \frac{U_2}{D} \quad \text{worin } \mathfrak{c}_0^2 = \frac{c_0^2}{\varepsilon_0 \mu_0},$$

so nimmt die Amplitudengleichung (86) die Form an:

89) $$\left[\mathfrak{c}^2 - \mathfrak{c}_0'^2 + i\mathfrak{q} \times I \frac{1}{\varepsilon_0 \mu_0} \frac{V_2'}{D}\right] \cdot \mathfrak{e}' = 0.$$

Hierin ist $\mathfrak{c}$ die Wellengeschwindigkeit in dem betrachteten Medium, $\mathfrak{c}_0'$ die Wellengeschwindigkeit in demselben Medium mit Berücksichtigung der Dispersion jedoch ohne Berücksichtigung der optischen Aktivität, die durch V_2' bestimmt ist. Aus (89) ersieht man zunächst, daß die elektrische Amplitude $\mathfrak{e}'$ komplex sein muß, also ist in diesem Medium linear polarisiertes Licht nicht möglich. Der dritte Skalar der in eckige Klammern eingeschlossenen Dyade muß Null sein, denn diese Dyade muß planar sein, da sie durch $\mathfrak{e}'$ annulliert wird. Dies gibt die Bedingung:

90) $$\mathfrak{c}^2\,(\mathfrak{c}^2 - \mathfrak{c}_0'^2)^2 - \frac{p^2}{\varepsilon_0 \mu_0} \frac{V_2'^2}{D^2} = 0.$$

Wenn V_2'/D klein ist, das heißt wenn die Schwingungszahl p keiner Eigenschwingungszahl sehr nahe liegt, hat die Gleichung (90) drei reelle Wurzeln für $\mathfrak{c}^2$. Es gibt also in jeder Richtung drei ungedämpfte Strahlen verschiedener Fortpflanzungsgeschwindigkeit, beim Eintritt in die optisch aktiven Medien wird das Licht nicht doppelt, sondern dreifach gebrochen.

Eine dieser drei Fortpflanzungsgeschwindigkeiten ist sehr klein (nahezu Null), dieser Strahl wird fast völlig in das Einfallslot gebrochen. Die andern zwei Fortpflanzungsgeschwindigkeiten bestimmen sich mit hinreichender Annäherung durch:

91) $$\mathfrak{c}^2 = \mathfrak{c}_0'^2 \pm \delta\,\mathfrak{c}_0', \quad \text{worin } \delta = \frac{p n^2}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \frac{V_2'}{D},$$

[1] Jaumann, Elektromagnetische Theorie, diese Sitzber. 117 (1908), p. 445.

[2] Drude, Lehrbuch der Optik (1900), p. 361.

und n dem Brechungsexponenten für die betreffende Lichtfarbe proportional ist. Zerlegt man (89) in den reellen und imaginären Teil:

$$\varepsilon_0 \mu_0 (\mathfrak{c}^2 - \mathfrak{c}_0'^2)\, \mathfrak{e}_1 = \frac{V_2'}{D} \mathfrak{q} \times \mathfrak{e}_2 \qquad \text{bezw. } \varepsilon_0 \mu_0 (\mathfrak{c}^2 - \mathfrak{c}_0'^2)\, \mathfrak{e}_2 = -\frac{V_2'}{D} \mathfrak{q} \times \mathfrak{e}_1,$$

so erkennt man, daß die um eine Viertelwellenlänge versetzten Wellen gleiche Amplitude $\mathfrak{e}_1$ und $\mathfrak{e}_2$ haben und diese Amplituden aufeinander senkrecht stehen. Der Strahl ist rechts zirkular, wenn $\mathfrak{c}^2 > \mathfrak{c}_0'^2$ und links zirkular, wenn $\mathfrak{c}^2 < \mathfrak{c}_0'^2$. Hieraus ergibt sich für die Drehung der Polarisationsebene pro Einheit des Lichtweges

92)
$$d = \frac{n^4}{\lambda^2} \sum_i \frac{k_i'}{\lambda_{0i}^2 - \lambda^2}.$$

Diese Formel für die Dispersion der Drehung der Polarisationsebene stimmt im Gebiete des sichtbaren und ultravioletten Lichtes bis $\lambda = 0.25\,\mu$. Im ultraroten Lichte liegen leider keine Beobachtungen vor.[1]

59. Absorbierende optisch inaktive isotrope Medien. Wir betrachten nun ein Medium, dessen Materialkonstanten nur die Bedingung: $V_2' = 0$ erfüllen, während V_2, D_{2i} und U_2 von Null verschieden sind. Die Amplitudengleichung nimmt die Form an

93)
$$\mathfrak{c}^2 = \mathfrak{c}_0^2 - p^2 \frac{U_2}{D} - i p \frac{V_2}{D}.$$

Ferner untersuchen wir der einfacheren Schreibweise wegen das Verhalten des Mediums nur im Gebiete einer einzigen Eigenschwingung, indem wir U_2 und V_2 als reelle Materialkonstante und $D = D_1 + i D_2$

$$D_1 = em\,(p_0^2 - p^2) + cx\,, \quad D_2 = -p\,(ex + mc)$$

annehmen. Setzt man

94)
$$z = \mathfrak{c}_0^2 (D_1^2 + D_2^2) - p^2 U_2 D_1 + p V_2 D_2 \quad \text{und 95)} \quad y = -p^2 U_2 D_2 + p V_2 D_1, \text{ so ist}$$

96)
$$\mathfrak{q}^2 = k^2 (z + iy), \text{ worin } k^2 = p^2 \frac{D_1^2 + D_2^2}{z^2 + y^2}.$$

Die Wurzel aus (96) ist $\mathfrak{q} = \mathfrak{q}_1 (1 + i\varkappa)$. Hierin ist $\varkappa$ die Dämpfung des Lichtes pro Wellenlänge. Der Extinktionskoeffizient h des Mediums für die betreffende Lichtfarbe p ist: $h = 4\pi\varkappa/\lambda = 4\pi q_1 \varkappa$ Wir können festsetzen, daß $\mathfrak{q}_1$ stets reell sein soll. Dann folgt aus (96) eindeutig:

97)
$$\varkappa = +\frac{1}{y}\left(-z + \sqrt{z^2 + y^2}\right)$$

und die reziproke Fortpflanzungsgeschwindigkeit ergibt sich aus:

98)
$$\mathfrak{q}_1^2 = \tfrac{1}{2} k^2 \left(z + \sqrt{z^2 + y^2}\right).$$

z kann auch negativ sein, dann ist aber $\varkappa^2 > 1$, also die Absorption enorm stark. Das Vorzeichen von y ist wesentlich positiv, wenn die Dämpfungs- und Schwingungskonstanten die Bedingungen erfüllen $c > 0$, $x > 0$, $4cx > (r+s)^2$. Dann ist nach (97) auch $\varkappa > 0$ und nach § 52 die Wärmeproduktion Q zufolge der Absorption positiv. Für die langwelligsten Hertz'schen Strahlen ($p \to 0$) ist nach (93) $\mathfrak{c} = \mathfrak{c}_0$, nach (94) $z > 0$ und daher die Absorption $\varkappa$ gleich Null. Für ins Unendliche zunehmende Schwingungszahlen ($p \to \infty$) (Röntgenstrahlen) ist nach (94), (95) und (96) $\mathfrak{q}^2$ reell und

[1] Vgl. die Zahlentabellen Jaumann, Elektromagnetische Theorie, diese Sitzber. 117 (1908), p. 458.

daher $\varkappa$ wieder gleich Null. Die Dämpfung hat also mindestens ein Maximum (in der Nähe der Eigenschwingungszahl p_0).

Differenziert man (97) nach p, so erhält man:

99) $$y\sqrt{z^2+y^2}\,\frac{d\varkappa}{dp} = \varkappa z^2\,\frac{d}{dp}\left(\frac{y}{z}\right).$$

Die Maxima und Minima der Dämpfung $\varkappa$ fallen also auf genau dieselben Schwingungszahlen p wie die Maxima und Minima von y/z, welche sich aus (94) und (95) berechnen lassen. Dies führt auf eine Gleichung dritten Grades in p^2. Die Absorption zufolge einer einzigen Eigenschwingung p_0 hat also eventuell auch zwei Maxima im Spektrum, von welchen aber meist nur das eine in der Nähe von p_0 hervorragt, während das zweite kaum merklich (sehr flach) oder nicht vorhanden ist.

60. Selektive Absorption der Gase. In diesen sind die Dämpfungskonstanten c und x und damit auch y sehr klein, und dann ist nach (97) mit hinreichender Annäherung

100) $$\varkappa = \tfrac{1}{2} y/z \quad ((p-p_0) \text{ endlich}).$$

Dies gilt jedoch nur für Schwingungszahlen p, welche den Eigenschwingungszahlen p_0 des Mediums nicht sehr naheliegen, für welche daher $D_1{}^2$ und damit z großen Wert hat. In der Nähe der Eigenschwingungszahlen p_0 verschwindet jedoch D_1 und enthält z nur Glieder, welche in c und x von höherem Grade sind. Dort ist also umgekehrt z viel kleiner als y und gilt nach (97)

101) $$\varkappa = 1 - z/y \quad ((p-p_0) \text{ sehr klein}).$$

Dort erreicht die Absorption der sonst nach (100) sehr durchsichtigen Gase enorme bis nahe an $\varkappa = 1$ heranreichende Werte. Das Gas hat also scharfe Absorptionslinien in der Nähe aller Eigenschwingungszahlen p_{0i}. Zur Berechnung der Schwingungszahl p der Absorptionslinie (des Maximums der Absorption) vernachlässigen wir alle Glieder, welche in bezug auf die sehr kleinen Absorptionskonstanten c und x und in bezug auf die sehr kleine Dispersionskonstante $\nu = U_2/e\,m\,\mathfrak{c}^2_0$ von höherem Grade sind. Dann ist nach (94) und (95)

$$\frac{z}{e\,m\,\mathfrak{c}_0^2} = (1+\nu)\,p^4 - (2+\nu)\,p_0^2 p^2 + p_0^4 \text{ und } \frac{y}{e\,m\,V_2} = Xp^3 + p_0^2 p \quad \text{worin } X = \frac{U_2}{V_2}\left(\frac{x}{m} + \frac{c}{e}\right) - 1.$$

Die Bedingung $\frac{d}{dp}\left(\frac{y}{z}\right) = 0$ ergibt nach (99) 102) $$\frac{p-p_0}{p_0} = \frac{\lambda_0 - \lambda^*}{\lambda_0} = -\frac{\nu}{4}.$$

Man ersieht, daß die Verschiebung der Wellenlänge λ^* der Absorptionslinie gegen die Eigenwellenlänge in erster Annäherung nur durch die Dispersionskonstante ν des Mediums bestimmt wird.

61. Pleochroismus der Kristalle. Für absorbierende Kristalle nimmt die Amplitudengleichung (86) die Form an:

103) $$[D\,(p^2\,\varepsilon_0\,\mu_0 + c_0^2\,\mathfrak{q}\times\mathfrak{q}) + \mathfrak{q}^2\,(p^2\,U_2 + i\,p\,V_2)]\cdot\mathfrak{e}' = 0.$$

Es tritt also an Stelle des dielektrischen Koeffizienten ε_0 für die nicht absorbierenden und nicht dispergierenden Kristalle in allgemeinen Kristallen die komplexe Dyade:

104) $$\eta = \varepsilon_0\cdot\left(I - \frac{p^2}{c_0^2}\,\frac{U_2}{D} - i\,\frac{p}{c_0^2}\,\frac{V_2}{D}\right)^{-1}$$

und es ist daher $\mathfrak{q}$ durch die Gleichung bestimmt:

105) $$\left[\frac{\mu_0\,p^2}{c_0^2}\,\eta + \mathfrak{q}\times\mathfrak{q}\right]_3 = 0,$$

welche sichert, daß die eckig eingeklammerte Dyade planar ist. Diese Bedingung ergibt einen komplexen Wert von $\mathfrak{q}$ und daher nach (103) einen komplexen Wert der Amplitude $\mathfrak{e}'$, also kann in einem absorbierenden Kristall im allgemeinen nur elliptisch polarisiertes Licht sich fortpflanzen.

Bei geringer Absorption nimmt (105) mit hinreichender Annäherung die Form an:

106) $$[\eta_0 + i\,(\zeta - 2\,\varkappa\,\eta_0) + \mathfrak{q}_1 \times \mathfrak{q}_1]_3 = 0.$$

Hierin wurde gesetzt $\mu_0\, p^2 \eta = c_0^2\, (\eta_0 + i\,\zeta)$ und $\mathfrak{q} = \mathfrak{q}_1\,(1 + i\,\varkappa)$.

Streng genommen fällt aber die Fortpflanzungsrichtung $\mathfrak{q}_1$ mit der Dämpfungsrichtung $\mathfrak{q}_2$ nicht genau zusammen. Den dritten Skalar φ_3 einer Dyade φ kann man nach Gibbs[1] in der Form

$$6\,\varphi_3 = \varphi \overset{\times}{\times} \varphi : \varphi$$

darstellen, welches Tripelprodukt alle Kommutationen erlaubt. Der dritte Skalar ist also eine dritte Potenz der Dyade und so ergibt sich der dritte Skalar einer Summe von Dyaden:

$$6\,(\varphi + \alpha)_3 = \varphi \overset{\times}{\times} \varphi : \varphi + 3\,\varphi \overset{\times}{\times} \varphi : \alpha + 3\,\varphi : \alpha \overset{\times}{\times} \alpha + \alpha \overset{\times}{\times} \alpha : \alpha$$

107) $$(\varphi + \alpha)_3 = \varphi_3 + \varphi_2 : \alpha + \varphi : \alpha_2 + \alpha_3.$$

Die Gleichung (106) zerfällt also, wenn man die höheren Potenzen des imaginären Teils vernachlässigt, in die zwei Gleichungen:

108) $$[\eta_0 + \mathfrak{q}_1 \times \mathfrak{q}_1]_3 = 0 \quad \text{und} \quad 109)\ [\eta_0 + \mathfrak{q}_1 \times \mathfrak{q}_1]_2 : (\zeta - 2\,\varkappa\,\eta_0) = 0.$$

Die Gleichung (108) ergibt das durch die angenommene geringe Absorption nicht merklich veränderte Fresnel'sche Gesetz der Doppelbrechung mit Berücksichtigung der Dispersion[2]

Wenn η_1, η_2, η_3, beziehungsweise ζ_1, ζ_2, ζ_3 die drei Hauptkoeffizienten der Dyaden η_0, beziehungsweise ζ sind und $\mathfrak{q}_1$ die Komponenten u, v, w nach diesen Hauptrichtungen des Kristalls hat, so haben die Diagonalkoeffizienten der Dyade $(\eta_0 + \mathfrak{q}_1 \times \mathfrak{q}_1)$ die Werte

$$\eta' = \eta_1 - v^2 - w^2 \quad , \quad \eta'' = \eta_2 - w^2 - u^2 \quad , \quad \eta''' = \eta_3 - u^2 - v^2$$

und es ist daher nach (109)

$$2\,\varkappa = \frac{\zeta_1\,(\eta''\,\eta''' - v^2\,w^2) + \zeta_2\,(\eta'''\,\eta' - w^2\,u^2) + \zeta_3\,(\eta'\,\eta'' - u^2\,v^2)}{\eta_1\,(\eta''\,\eta''' - v^2\,w^2) + \eta_2\,(\eta'''\,\eta' - w^2\,u^2) + \eta_3\,(\eta'\,\eta'' - u^2\,v^2)}.$$

Ist z. B. $v = w = 0$, d. h. wird der Kristall in einer Hauptrichtung durchleuchtet, so lautet (108)

$$\eta''\,\eta''' = (\eta_2 - u^2)\,(\eta_3 - u^2) = 0$$

$u^2 = \mathfrak{q}_1^2$, hat also die zwei Wurzeln η_2 und η_3 und es ist $2\,\varkappa = \zeta_2/\eta_2$, beziehungsweise $2\,\varkappa = \zeta_3/\eta_3$ Die sechs paarweise aufeinander senkrecht polarisierten, in den drei orthogonalen Hauptrichtungen des Kristalls fortschreitenden Strahlen haben also nur drei voneinander verschiedene Fortpflanzungsgeschwindigkeiten und zeigen nur drei voneinander verschiedene Absorptionen in der dichroskopischen Lupe, und zwar zeigen je zwei (senkrecht zueinander fortschreitende) Strahlen, welche gleiche elektrische Schwingungsrichtung haben, gleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit und gleiche Absorption.

9. Elektrooptische und magnetooptische Erscheinungen.

62. Die Strahlungen in starken elektromagnetischen Feldern erfahren deshalb einen Einfluß erster Ordnung von seiten der statischen Feldstärken $\mathfrak{e}_0$ und $\mathfrak{m}_0$, weil zufolge der Variabilität der

---

[1] Gibbs, Vektoranalysis, p. 328.

[2] Vgl. auch Lohr, diese Sitzber. 121 (1912), p. 664.

dielektrischen und diamagnetischen Koeffizienten Komponenten der Verschiebungsströme auftreten, welchen aus energetischen Gründen (vgl. weiter oben § 7) der Wert $\frac{1}{2}\partial\varepsilon/\partial t \cdot \mathfrak{e}_0$, bzw. $\frac{1}{2}\partial\mu/\partial t \cdot \mathfrak{m}_0$ zugeschrieben werden muß. Die Amplituden dieser Verschiebungsströme sind im § 54 angegeben. Wir betrachten hier nur optisch inaktive Medien und setzen daher $\alpha' = \beta' = 0$. Es ergeben sich dann, wie am angegebenen Orte[1] ausführlich berechnet wurde, folgende Bedingungsgleichungen für die longitudinale, beziehungsweise transversale Komponente der Amplitude $\mathfrak{e}'$:

$$110)\quad \mathfrak{n}\cdot\mathfrak{e}'\left(\varepsilon_0 D\left(\mathfrak{c}^2-\mathfrak{l}^2\right)+i\left(g_2+g_3\right)\mathfrak{c}\cdot\mathfrak{e}_0\right)+i\, g_1\, \mathfrak{e}_0\cdot\mathfrak{e}' = 0$$

$$111)\quad \mathfrak{n}\times\mathfrak{e}'\left(\varepsilon_0 D\left(\mathfrak{c}^2-\mathfrak{t}^2\right)+i\, g_2\, \mathfrak{c}\cdot\mathfrak{e}_0\right)+i\,\mathfrak{n}\cdot\mathfrak{e}'\left(g_3\,\mathfrak{c}\times\mathfrak{e}_0+\frac{c_0}{\mu_0}h_3\,\mathfrak{c}\times\mathfrak{m}_0\times\mathfrak{n}\right)+i\frac{c_0}{\mu_0}h_2\,\mathfrak{n}\cdot\mathfrak{m}_0\,\mathfrak{c}\times\mathfrak{e}'\times\mathfrak{n} = 0.$$

Hierin ist $\mathfrak{c} = 1/\mathfrak{n} = p/\mathfrak{q}$ die komplexe Fortpflanzungsgeschwindigkeit (beziehungsweise Dämpfung), ferner $\mathfrak{t}$ die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der transversalen Strahlen ($\mathfrak{n}\cdot\mathfrak{e} = 0$) gleicher Schwingungsdauer bei Abwesenheit eines statischen Feldes und $\mathfrak{l}$ die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der longitudinalen Strahlen ($\mathfrak{n}\times\mathfrak{e}' = 0$), welche gleiche Schwingungszahl wie der betrachtete allgemeine Strahl haben und sich im unelektrischen und unmagnetischen Felde fortpflanzen.

63. Die elektrische Doppelbrechung und der elektrische Dichroismus ergeben sich aus (110) und (111), wenn man $\mathfrak{m}_0 = 0$ und $\mathfrak{c}\cdot\mathfrak{e}_0 = 0$ setzt (vgl. die ausführliche Darstellung am angegebenen Orte). Diese Bedingungsgleichungen können nur erfüllt werden:

1. Wenn $\mathfrak{e}_0\cdot\mathfrak{e}' = 0$ ist, das heißt wenn die elektrischen Schwingungen $\mathfrak{e}'$ auf der transversalen Feldstärke $\mathfrak{e}_0$ senkrecht stehen. Dann ist $\mathfrak{n}\cdot\mathfrak{e}' =$ gleich Null, das heißt der Strahl bleibt exakt transversal und es ist $\mathfrak{c}^2 = \mathfrak{t}^2$, dieser linear polarisierte Strahl erfährt von seiten des Feldes $\mathfrak{e}_0$ keinerlei Beeinflussung in bezug auf seine Fortpflanzung und Dämpfung.

2. Wenn $\mathfrak{e}_0\cdot\mathfrak{e}'$ nicht gleich Null, so ist nach (110) auch $\mathfrak{n}\cdot\mathfrak{e}'$ nicht Null, der Strahl enthält also eine longitudinale Schwingungskomponente. Dann müssen nach (111) $\mathfrak{n}\times\mathfrak{e}'$ und $\mathfrak{c}\times\mathfrak{e}'$ gleich gerichtet sein, das heißt die elektrischen Schwingungen fallen in die Ebene von $\mathfrak{c}$ und $\mathfrak{e}_0$. Aus (110) folgt

$$\mathfrak{n}\cdot\mathfrak{e}' = -i\,\alpha\,\frac{\varepsilon_0 D}{g_3}\,\mathfrak{e}_0\cdot\mathfrak{e}',\quad \text{worin } \alpha = \frac{g_1 g_3}{\varepsilon_0^2 D^2(\mathfrak{c}^2-\mathfrak{t}^2)}\quad \text{und es folgt aus (111)}$$

$$112)\quad \mathfrak{c} = \mathfrak{t}-\tfrac{1}{2}\,\alpha\,\mathfrak{e}_0^2.$$

Dieser senkrecht zu dem vorher betrachteten Strahle polarisierte Strahl erfährt also eine von dem Quadrate der Feldstärke abhängende Beeinflussung seiner Fortpflanzungsgeschwindigkeit und Dämpfung, womit die elektrische Doppelbrechung und der elektrische Dichroismus, auf welchem das elektrische Analogon zu dem Zeemann'schen Transversaleffekt beruht, erklärt ist. Genaueres hierüber folgt w. u. bei Berechnung des magnetischen Zeemaneffektes.

64. Die longitudinale elektrische Dämpfung des Lichtes. Wenn die Strahlkonstante g_2 (§ 54) eine reelle Komponente hat, so ergibt sich eine elektrische Dämpfung $\varkappa_1$ des Lichtes im elektrostatischen Felde. Für $\mathfrak{c}\times\mathfrak{e}_0 = 0$, also wenn die Fortpflanzung in der Richtung der Feldstärke erfolgt, fordert (111)

$$\varepsilon_0 D\left(\mathfrak{c}^2-\mathfrak{t}^2\right)+i\, g_2\, \mathfrak{c}\cdot\mathfrak{e}_0 = 0,$$

woraus sich der imaginäre Anteil von $\mathfrak{c}^2$, also die Absorption des Lichtes im elektrischen Felde ergibt. Dieselbe hängt mit der entladenden Wirkung des Lichtes zusammen.

65. Der kohaerente Ladungsstrom des Lichtes ist bereits durch Gleichung 25), § 14, bestimmt. Der Mittelwert desselben kann auch aus der elektrischen Dämpfung des Lichtes (§ 64) unter Zuziehung des Energieprinzips berechnet werden. Der kohaerente Ladungsstrom ist in rein trans-

[1] Jaumann, Elektromagnetische Theorie, Sitzber. 117 (1908), p. 476.

versalen Strahlen rein longitudinal gerichtet. Auf die bedeutenden kosmischen Wirkungen, welche der kohaerente Ladungsstrom der Sonnenstrahlung ausübt, wurde schon[1] hingewiesen. Abgesehen von dieser entladenden Wirkung des kohaerenten Ladungsstromes des Lichtes kann nach meinem Entladungsgesetze (vgl. § 1) nur die in die Elektrodennormale fallende Komponente der elektrischen Schwingungen des Lichtes Einfluß auf die elektrische Entladung haben. Hieraus folgt der Einfluß der Schwingungsrichtung polarisierten Lichtes auf dessen entladende Wirkung, welchen ich (1892) vorausgesagt habe und welchen Elster und Geitel (1894) nachgewiesen haben.[2]

66. Magnetische Drehung der Polarisationsebene. Die Gleichungen (110) und (111) nehmen für $\mathfrak{e}_0 = 0$ und $\mathfrak{c}^2 \neq \mathfrak{t}^2$ die Form an:

$$113)\quad \mathfrak{n}\cdot\mathfrak{e}' = 0 \qquad 114)\quad \varepsilon_0 D(\mathfrak{c}^2-\mathfrak{t}^2)\,\mathfrak{e}' - i\,\frac{c_0}{\mu_0}\,h_2\,\mathfrak{n}\cdot\mathfrak{m}_0\,\mathfrak{c}\times\mathfrak{e}' = 0.$$

Wenn das Medium nicht absorbiert, also $\mathfrak{c}$ reell ist, und wenn auch die Strahlkonstante h_2 reel ist, so folgt durch Trennung der reellen und imaginären Glieder:

$$\varepsilon_0 D(\mathfrak{c}^2-\mathfrak{t}^2)\,\mathfrak{e}_1 + \frac{c_0}{\mu_0}\,h_2\,\mathfrak{n}\cdot\mathfrak{m}_0\,\mathfrak{c}\times\mathfrak{e}_2 = 0 \qquad \text{und} \qquad \varepsilon_0 D(\mathfrak{c}^2-\mathfrak{t}^2)\,\mathfrak{e}_2 - \frac{c_0}{\mu_0}\,h_2\,\mathfrak{n}\cdot\mathfrak{m}_0\,\mathfrak{c}\times\mathfrak{e}_1 = 0.$$

Es kann sich also im magnetischen Felde $\mathfrak{m}_0$ nur zirkularpolarisiertes Licht fortpflanzen und die beiden entgegengesetzt zirkularen Strahlen haben die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten:

$$115)\qquad \mathfrak{c}^2 = \mathfrak{t}^2 \pm \alpha\,\overline{\mathfrak{m}}_0\,, \quad \text{worin } \alpha = \frac{c_0}{\varepsilon_0\,\mu_0}\,\frac{h_2}{D}$$

und $\overline{\mathfrak{m}}_0$ die in die Fortpflanzungsrichtung fallende Komponente von $\mathfrak{m}_0$ ist. Damit ist das Faraday'sche Phänomen erklärt. Es ergibt sich hieraus.

$$\mathfrak{c} = \mathfrak{t} \pm \tfrac{1}{2}\,\alpha\,\mathfrak{n}\cdot\mathfrak{m}_0$$

und für die magnetische Drehung D der Polarisationsebene:

$$d = k\,\frac{n^2}{\lambda^2(\lambda^2-\lambda_0^2)}\,\overline{\mathfrak{m}}_0\,,$$

worin k eine Materialkonstante ist. In der Nähe der Eigenschwingungszahlen wird die magnetische Drehung sehr groß, aber auch stark von der Absorption des Mediums abhängig.

67. Dichroismus der magnetischen Zirkularpolarisation. Wir wiederholen nun die obige Rechnung in allgemeinerer Form für ein absorbierendes Medium, in welchem auch die Strahlkonstante h_2 nach § 54 komplex ist:

$$c_0\,h_2 = \varepsilon_0\,\mu_0\,(p\,\eta + i\,p\,\zeta),$$

worin η und ζ reelle Materialkonstanten sind, und gehen von der Gleichung 114) aus, welche mit hinreichender Annäherung die Form hat:

$$[D(\mathfrak{c}^2-\mathfrak{t}^2) - i\,h_2\,\overline{\mathfrak{m}}_0\,\mathfrak{c}_0 \times I]\cdot\mathfrak{e}' = 0.$$

Der dritte Skalar der in eckige Klammern eingeschlossenen Dyade muß Null sein, dies ergibt:

$$D^2(\mathfrak{c}^2-\mathfrak{t}^2)^2 = h_2^2\,\mathfrak{c}_0^2\,\overline{\mathfrak{m}}_0^2.$$

Setzt man hierin für $\mathfrak{t}^2$ den durch (93) angegebenen Wert, so erhält man eine Gleichung von derselben Form wie (93), in welcher aber

$$116)\qquad U_2 \mp \frac{1}{p}\,\eta\,\overline{\mathfrak{m}}_0 \quad \text{statt} \quad U_2 \quad \text{und} \quad V_2 \mp p\,\zeta\,\overline{\mathfrak{m}}_0 \quad \text{statt} \quad V_2$$

---

[1] Jaumann, Elektromagn. Theorie, Sitzber. 117 (1908), p. 529.

[2] Ibid., p. 530. Vgl. Jaumann, Wied. Ann. 55, p. 658, und Elster und Geitel, Berl. Akad. 6.

steht. Es sind jetzt beide Strahlen elliptisch polarisiert, die oberen Vorzeichen gelten für den rechts elliptisch polarisierten, die unteren Vorzeichen für den links elliptisch polarisierten Strahl. Führt man die Substitution (116) in (94) und (95) aus, so erhält man geänderte Werte von z und y, und zwar haben diese Strahlkonstanten für den rechts, beziehungsweise links elliptisch-polarisierten Strahl verschiedene Werte. Unter Verwendung dieser magnetisch veränderten Werte von z und y gelten aber alle weiteren Ausführungen in § 59 und 60. Die reziproken Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der entgegengesetzt elliptisch polarisierten Strahlen ergeben sich also aus (98), die Dämpfung $\varkappa$ derselben ergibt sich nach (97) durch $\varkappa = + \frac{1}{y}\left(-z+\sqrt{z^2+y^2}\right)$.

Setzt man die für die beiden Strahlen in entgegengesetztem Sinne magnetisch veränderten Werte z und y ein, so ergibt sich, daß beide Strahlen im magnetischen Felde verschieden stark absorbiert werden. Es tritt daher Dichroismus der magnetischen Zirkularpolarisation ein.

Setzen wir $\varkappa = \varkappa_0 + \varkappa_1$, worin $\varkappa_0$ die natürliche und $\varkappa_1$ die magnetische Absorption ist, so folgt mit hinreichender Annäherung:

$$\mathfrak{c}^2 = \mathfrak{t}^2 (1+2i\varkappa_1) \quad , \quad \mathfrak{t}^2 = \mathfrak{c}_1^2 (1+2i\varkappa_0) \qquad \text{also} \qquad \mathfrak{c}^2 = \mathfrak{c}_1^2 (1+2i(\varkappa_0+\varkappa_1))$$

worin $\mathfrak{c}_1 = p/\mathfrak{q}_1$ ist. Nach Analogie von (115) folgt:

$$\mathfrak{c}^2 - \mathfrak{t}^2 = \pm \frac{c_0}{\varepsilon_0 \mu_0} \frac{h_2}{D} \overline{\mathfrak{m}}_0. \qquad \text{Die imaginären Glieder ergeben: } \varkappa_1 = \pm \frac{\mathfrak{q}_1^2}{2} \frac{\zeta D_1 - \frac{\eta}{p} D_2}{D_1^2 + D_2^2} \overline{\mathfrak{m}}_0,$$

wodurch die entgegengesetzte magnetische Dämpfung beider Strahlen bestimmt ist.

68. Der Zeeman'sche Longitudinaleffekt. Wir berechnen nun die magnetische Dämpfung des Lichtes in sehr durchsichtigen Medien (in Gasen), dieselben haben auch im magnetischen Felde Linienspektren. Der magnetisch veränderte Wert von y, welchen wir durch die Substitution (116) gewonnen haben, ist in größerer Entfernung im Spektrum von der Eigenschwingungszahl p_0 des Gases gegen z sehr klein. In unmittelbarer Nähe von p_0 verschwindet jedoch D_1 und es enthält dann z nur Glieder, welche entweder von höherer Ordnung in den kleinen Dämpfungskonstanten c und x sind oder welche $\overline{\mathfrak{m}}_0$ enthalten. Auch letztere Glieder sind sehr klein, so daß hier z gegen y verschwindet. Es gilt daher in der Nähe der Eigenschwingung nach Analogie von (101)

$$\varkappa = 1 - z/y.$$

Wir wollen nun die Lage der Absorptionslinie (des Absorptionsmaximums) im magnetischen Felde berechnen. Führen wir die Substitution (116) in (94) und (95) aus, so ergeben sich die folgenden magnetisch veränderten Werte von z und y:

$$\frac{z}{e\,m\,\mathfrak{c}_0^2} = A p^4 \mp \nu' p_0 p^3 - 2 B p_0^2 p^2 \pm \nu' p_0^3 p + C p_0^4 \quad \text{und} \quad \frac{y}{e m V_2} = \pm \mu' \frac{p^4}{p_0} + X p^3 \mp \mu'' p_0 p^2 + p_0^3 p.$$

Hierin hängt A, B und C nur von der natürlichen Dispersion und Absorption des Mediums ab. Vernachlässigen wir wieder die Glieder, die in den Dämpfungskonstanten c und x sowie in den Dispersionskonstanten ν von zweiter Ordnung klein sind, so ist: $A = 1 + \nu$, $B = 1 + \nu/2$, $C = 1$.

Ferner hat X die weiter oben angegebene Bedeutung und es ist

$$\nu' = \frac{1}{p_0} \frac{\eta}{e m \mathfrak{c}_0^2} \overline{\mathfrak{m}}_0 \qquad \text{ferner} \qquad \mu' = p_0 \frac{\zeta}{e m V_2} \overline{\mathfrak{m}}_0 \text{ und } \mu'' \doteq \mu' \text{ (bei Vernachlässigung von } \eta x$$

und ηc). Die Lage der Absorptionslinie im magnetischen Felde fällt nach § 59 exakt zusammen mit der Lage des Maximums von y/z. Die Schwingungszahl p der Absorptionslinie bestimmt sich also durch

$$z \frac{dy}{dp} - y \frac{dz}{dp} = 0.$$

Dies führt bei konsequenter Vernachlässigung der Glieder höherer Ordnung auf die Gleichung sechsten Grades für p:

$$A X p^6 \pm 6 \mu' p_0 p^5 + (2 B X + 3 A) p_0^2 p^4 \mp$$
$$\mp (4 \mu + 2 (X+1) \nu') p_0^3 p^3 - (2 B + 3 C X) p_0^4 p^2 \pm 2 \mu' p_0^5 p - C p_0^6 = 0.$$

Nur eine der sechs Wurzeln dieser Gleichung liegt in der Nähe von p_0. Wir setzen wieder $p = p_0 (1+\rho')$ und erhalten bei Vernachlässigung der Glieder höherer Ordnung:

117) $$\rho' - \rho = \pm \tfrac{1}{4} (\nu' - 2 \mu'/(X+1)).$$

Es ist $p_0 (\rho' - \rho)$ die Verschiebung der Schwingungszahl der Absorptionslinie durch das magnetische Feld, wobei das obere Vorzeichen für den rechts-, das untere für den linkszirkularen Strahl gilt. Damit ist der Zeeman'sche magnetische Longitudinaleffekt erklärt.

69. Magnetische Doppelbrechung und Zeeman'scher Transversaleffekt. W. Voigt hat erkannt, daß der Zeeman'sche Transversaleffekt auf den Dichroismus der magnetischen Doppelbrechung zurückzuführen ist und hieraus die magnetische Doppelbrechung (des Natriumdampfes) für das der Eigenschwingung benachbarte Licht vorausgesagt. Eine Einwirkung von seiten des transversalen magnetischen Feldes $\mathfrak{m}_0$ erfährt nur der linearpolarisierte Strahl, dessen magnetische Schwingungen zu $\mathfrak{m}_0$ parallel sind, und es gilt dual analog wie bei der elektrischen Doppelbrechung

$$\mathfrak{c}^2 = \mathfrak{t}^2 - \frac{g_1' g_3'}{\varepsilon_0^2 D^2} \frac{\mathfrak{c}^2}{\mathfrak{c}^2 - \mathfrak{l}'^2} \mathfrak{m}_0^2.$$

Die Fortpflanzungsgeschwindigkgit $\mathfrak{l}'$ der magnetischen Longitudinalstrahlen (Righi'sche Strahlen) setzen wir als verschwindend klein voraus. Bei gleichem Rechnungsgange wie für die magnetischen Longitudinaleffekte erhalten wir jetzt für die Verschiebung der Absorptionslinie durch das transversale magnetische Feld:

$$\rho' - \rho = -\frac{k}{D} \mathfrak{m}_0^2,$$

worin k eine von den Materialkonstanten abhängende Konstante ist. Falls die Dämpfungskonstanten c und x sehr klein sind, ist $\rho = 0$ und $D = em (p_0^2 - p^2) = -2 emp_0 \rho'$. Man erhält sonach

$$\rho'^2 = + \frac{k}{2 e m p_0^2} \mathfrak{m}_0^2 \quad \text{oder} \quad \rho' = \pm \frac{\mathfrak{m}_0}{p_0} \sqrt{\frac{k}{2 e m}}.$$

Der parallel zu der transversalen Feldstärke magnetisch schwingende Strahl hat also zwei Absorptionslinien, die in entgegengesetzter Richtung um den Betrag $\pm p_0 \rho'$ aus der der Eigenschwingung p_0 entsprechenden Linie verschoben sind. Dieser Betrag ist, in Schwingungszahlen gemessen, von der Größe der Eigenschwingung p_0 unabhängig. Das senkrecht zur transversalen Feldstärke $\mathfrak{m}_0$ magnetisch schwingende Licht erfährt von derselben keinerlei Beeinflussung und bildet die mittlere unverschobene Linie des Zeeman'schen Triplets.

70. Rationale Zahlenbeziehungen bei dem Zeemaneffekt. Runge hat zuerst nachgewiesen, daß für viele (die sogenannten normalen) Spektrallinien verschiedener Gase

$$\rho' = \frac{\lambda_0 - \lambda'}{\lambda_0} = \pm C \lambda_0 \mathfrak{m}_0.$$

Hierin hat C den universellen Wert $C = 4.7 \times 10^{-5}\, c \cdot g \cdot s$ oder ist ein rationales Vielfaches dieses Wertes. Es hat also die Materialkonstante k/em universellen Wert.

Ferner besteht zwischen dem Zeeman'schen Transversaleffekt und dem Longitudinaleffekt quantitative Gleichheit. Hieraus folgt, daß zwischen den Materialkonstanten $\alpha' \beta'$ und den dual entsprechenden Materialkonstanten $\alpha \beta$ der stofflichen Differentialgesetze die Beziehung

118) $$\frac{\alpha_1'}{\alpha_1} = \frac{\alpha_2'}{\alpha_2} = \frac{\beta_1'}{\beta_1} = \frac{\beta_2'}{\beta_2} = M$$

besteht, worin M für viele sehr durchsichtige Stoffe eine universelle Konstante ist. Wir werden sogleich im nächsten Kapitel eine hievon gänzlich unabhängige Bestätigung dieser universellen Beziehung mitteilen können.

10. Die Grenzbedingungen für dispergierende und absorbierende Medien. Höhere Reflexionserscheinungen.

71. E. Lohr[1] hat darauf aufmerksam gemacht, daß die Tatsache, daß die Fresnel'schen Reflexionsformeln auch in dispergierenden Medien für monochromatisches Licht jeder Farbe gelten, ein heuristisch wichtiges Problem für meine Theorie bildet, denn diese erklärt die Dispersion durch die räumlichen Derivationen $\nabla\cdot(\alpha\,\mathfrak{s}+\beta\,\mathfrak{r})$, beziehungsweise $\nabla\cdot(\alpha'\,\mathfrak{s}+\beta'\,\mathfrak{r})$. Räumliche Derivationen eines Differentialgesetzes bestimmen aber die inhaerente Grenzbedingung, welche aus demselben folgt. Man sollte also erwarten, daß andere Grenzbedingungen und daher andere Reflexionsformeln aus meiner Theorie folgen als aus der Maxwell'schen Theorie und es bedarf einer besonderen Untersuchung der Bedingungen, unter welchen die Fresnel'schen Reflexionsformeln auch aus meiner Theorie folgen. Es soll hier ein Rechnungsgang eingeschlagen werden, welcher erkennen läßt, welches die hinreichenden Bedingungen dieser Übereinstimmung sind. Es gelingt dabei, die Lohr'sche Lösung des Problems aufrecht zu erhalten, ohne zu der weitgehenden Annahme greifen zu müssen, daß die skalarfreien Teile der stofflichen Variablen rein antisymmetrisch sind.

72. Allgemeines über inhaerente Grenzbedingungen. Man kann aus einem Differential- und Nahewirkungsgesetze, welches die Fluxion einer realen physikalischen Variablen als Funktion anderer Variablen und räumlicher Derivationen derselben darstellt, eine inhaerente Grenzbedingung gewinnen, wenn man von der Arbeitshypothese ausgeht, daß diese Fluxion niemals, auch in der unendlich inhomogenen Grenzschicht zwischen zwei aneinander grenzenden Medien nicht, unendlich werden darf. Dann muß das Raumintegral der Summe der sämtlichen räumlichen Derivationen dieses Differentialgesetzes für ein nach zwei Dimensionen endliches Stück dieser Grenzschicht mit der Dicke dieser Schicht verschwinden. Diese Raumintegrale lassen sich in Oberflächenintegrale verwandeln und diese brauchen nur über die beiden ebenen Grenzflächenstücke des betrachteten Stückes der Grenzschicht erstreckt zu werden, deren Flächenvektoren $\mathfrak{f}$, beziehungsweise $-\mathfrak{f}$ seien. Die ungemein schmale Randfläche wäre nur bei unreinen (dickeren) Oberflächenschichten oder für äußerst kurzwellige elektrische Strahlen (Röntgenstrahlen) mit zu berücksichtigen. Wir können die Integraloperatoren[2] des Raumintegrals, beziehungsweise Oberflächenintegrals hier ersetzen durch den einfachen vektorischen Operator

$$\mathfrak{f}_\nu = \mathfrak{f}_{(1)} - \mathfrak{f}_{(2)}.$$

Hierbei setzen wir fest, daß das (skalare, vektorische, dyadische etc.) Produkt von $\mathfrak{f}_{(1)}$, beziehungsweise $\mathfrak{f}_{(2)}$ mit einer Variablen gleich sein soll dem gleichartigen Produkt von $\mathfrak{f}$ mit dem Werte dieser Variablen in dem Medium (1), beziehungsweise (2) unmittelbar an der Grenzschicht. Die so erhaltene inhaerente Grenzbedingung ist eine skalare, vektorische, beziehungsweise dyadische Gleichung, je nachdem das Differentialgesetz skalar, vektorisch oder dyadisch ist. Enthält das Differentialgesetz die Summe mehrerer Glieder, welche räumliche Derivationen erster Ordnung sind, so erhält man die inhaerente Grenzbedingung desselben, indem man in diesen Gliedern den Operator ∇ durch den Operator $\mathfrak{f}_\nu$ ersetzt und die erhaltene Summe gleich Null setzt. Wenn die verschiedenen räumlichen Derivationen dieses Differentialgesetzes jedoch noch mit verschiedenen Faktoren behaftet sind, so müssen diese räumlichen Derivationen entweder voneinander unabhängig

---

[1] E. Lohr, Das Problem der Grenzbedingungen in G. Jaumann's elektromagnetischer Theorie. I. Mitteilung, Sitzber. 120 (1911), p. 1503, II. Mitteilung, Sitzber. 121 (1912), p. 633.

[2] Vgl. Jaumann, Über Dyaden und Dyadenrechnung, Archiv d. Math. u. Phys. 25 (1916), p. 41.

(heterogen) sein, wie zum Beispiel skalare und rotorische Derivationen, oder es müssen zwischen diesen Faktoren universelle Verhältnisse bestehen, damit es überhaupt möglich ist, eine inhaerente Grenzbedingung aus dem Differentialgesetze zu folgern, was also überhaupt nur ausnahmsweise in speziellen Fällen möglich ist.

73. Inhaerente Grenzbedingungen der elektromagnetischen Differentialgesetze. So wie in der Maxwell'schen Theorie gehen wir von der Annahme aus, daß der elektrische und der magnetische Vektor niemals, auch in der unendlich dünnen Grenzschicht nicht, unendlich werden darf. Dann ergeben die elektromagnetischen Differentialgesetze I und II die zwei inhaerenten vektorischen Grenzbedingungen:

$$119)\quad \mathfrak{k}_\nu \cdot \sum_i (\alpha_i \sigma_i + \beta_i \tau_i) = c_0 \mathfrak{k}_\nu \times \mathfrak{m} \text{ und } \qquad 120)\quad \mathfrak{k}_\nu \cdot \sum_i (\alpha_i' \sigma_i + \beta_i' \tau_i) = - c_0 \mathfrak{k}_\nu \times \mathfrak{e}$$

74. Divergenz des Energieflusses in der Grenzschicht. Aus diesen elektromagnetischen Grenzbedingungen kann man eine Grenzbedingung für den Energiefluß $\mathfrak{s}$ ableiten, welcher nach § 52 den Wert hat:

$$\mathfrak{s} = c_0 \mathfrak{e} \times \mathfrak{m} + \sum_i (\alpha_i \sigma_i + \beta_i \tau_i) \cdot \mathfrak{e} + \sum_i (\alpha_i' \sigma_i' + \beta_i' \tau_i') \cdot \mathfrak{m}$$

Durch rotorische Multiplikation der elektromagnetischen Grenzbedingungen (119) und (120) miteinander erhält man die Gleichung:

$$\mathfrak{k}\mathfrak{k}_\nu \cdot \mathfrak{s} + \mathfrak{k}_\nu \cdot \sum_i (\alpha_i \sigma^i + \beta_i \tau_i) \times \sum_i (\alpha_i' \sigma_i + \beta_i' \tau_i')_c \cdot \mathfrak{k} = \mathfrak{e}\mathfrak{k}_\nu \cdot \sum_i (\alpha_i \sigma_i + \beta_i \tau_i) \cdot \mathfrak{k} + \mathfrak{m}\mathfrak{k}_\nu \cdot \sum_i (\alpha_i' \sigma_i + \beta_i' \tau_i') \cdot \mathfrak{k}$$

Multipliziert man (119), beziehungsweise (120) skalar mit $\mathfrak{k}$ so folgt

$$\mathfrak{k}_\nu \cdot \sum_i (\alpha_i \sigma_i + \beta_i \tau_i) \cdot \mathfrak{k} = 0, \text{ beziehungsweise } \mathfrak{k}_\nu \cdot \sum_i (\alpha_i' \sigma_i + \beta_i' \tau_i) \cdot \mathfrak{k} = 0.$$

Aus den elektromagnetischen Grenzbedingungen (119) und (120) folgt also folgende Grenzbedingung für den Energiefluß:

$$121)\quad \mathfrak{k}\mathfrak{k}_\nu \cdot \mathfrak{s} = \mathfrak{k}_\nu \cdot \sum_i (\alpha_i \sigma_i + \tau_i \tau_i) \times \sum_i (\alpha_i' \sigma_i + \beta_i' \tau_i) \cdot \mathfrak{k}$$

Die rechte Seite dieser Gleichung muß verschwinden, wenn die in die Normale der Grenzschicht fallenden Komponenten des Energieflusses auf beiden Seiten derselben gleich groß sein soll, das heißt in der Grenzschicht keine unendliche Divergenz haben sollen, was wir voraussetzen wollen. Es müssen deshalb den Materialkonstanten die Bedingungen auferlegt werden

$$122)\quad \frac{\alpha_{i1}'}{\alpha_{i1}} = \frac{\alpha_{i2}'}{\alpha_{i2}} = \frac{\alpha_{i3}'}{\alpha_{i3}} = \frac{\beta_{i1}'}{\beta_{i1}} = \frac{\beta_{i2}'}{\beta_{i2}} = \frac{\beta_{i3}'}{\beta_{i3}} = M$$

welche mit der Bedingung (118) übereinstimmen. Diese Konstantenbedingung schließt aber die optische Aktivität der Medien aus, da nach derselben V_2' (§ 58 und 56) gleich Null wäre.

An der Grenzschicht optisch aktiver Medien muß außer den rotorischen Grenzbedingungen (119) und (120), welche durch die reflektierten und zwei eindringenden Strahlen erfüllt werden, noch die skalare Grenzbedingung

$$123)\quad \mathfrak{k}_\nu \cdot \sum_i (\alpha_i' \sigma_i \times \beta_i' \tau_i) \times \sum_i (\alpha \sigma_i + \beta \tau_i) \cdot \mathfrak{k} = 0$$

erfüllt werden. Tatsächlich steht in optisch aktiven Medien noch ein dritter zirkularpolarisierter Strahl (vgl. § 58) zur Erfüllung dieser Grenzbedingung zur Verfügung.

75. Bedingung für das Verschwinden der Energieproduktion in der Grenzschicht. Die Erfüllung von Grenzbedingungen irgendwelcher Art durch die beiden Lösungen der Differentialgesetze, welche einzeln in je einem der aneinanderstoßenden Medien gelten, bietet keine Gewähr dafür, daß sich diese zwei Integrale zu einem Integral verbinden lassen, welches auch im Innern der Grenzschicht gilt. Wir haben durch die Erfüllung der Grenzbedingung (123) oder durch die Konstantenbedingungen (122) dafür gesorgt, daß der Energiefluß gegen die Grenzschicht in dem für das eine Medium geltenden Integrale gleich dem Energiefluß von der Grenzschicht in dem für das andere Medium geltenden Integral ist. In jenen Fällen, in welchen diese zwei Integrale einen einheitlichen physikalischen Vorgang darstellen, wird auch die Energieproduktion in der Grenzschicht mit der Dicke derselben verschwinden müssen. Dies können wir aber nur durch die Erfüllung einer weiteren völlig unabhängigen skalaren Grenzbedingung sichern. Eine unendlich hohe elektromagnetische Energiedichte kann in der Grenzschicht nicht auftreten, da durch die Erfüllung der rotorischen Grenzbedingungen 119) und 120) dafür gesorgt ist, daß der elektrische und magnetische Vektor in der Grenzschicht endlich bleibt. Es muß also noch gefordert werden, daß die Summe der Fluxion der stofflichen Energie E_2 und der Wärmeproduktion Q pro Volums- und Zeiteinheit in der Grenzschicht nicht unendlich wird. Wir beschränken uns zunächst auf den Fall, daß die dyadische Derivation $\alpha\nabla, \mathfrak{e}$ und $\beta\nabla, \mathfrak{e}$ skalarfrei ist, daß also die Konstantenbedingungen erfüllt sind:

$$\alpha_{1i} + \alpha_{2i} + 3\,\alpha_{3i} = 0 \quad , \quad \beta_{1i} + \beta_{2i} + 3\,\beta_{3i} = 0 .$$

Dann folgt aus den Differentialgesetzen III_i und IV_i durch Multiplikation σ_i:, beziehungsweise τ_i:

$$124)\qquad -2\left(\frac{dE_2}{dt} + Q\right) = \sum_i \Big((\alpha_{1i}-\alpha_{2i})\,\sigma_i + (\beta_{1i}-\beta_{2i})\,\tau_i\Big) : \Big((\nabla;\mathfrak{e}-\mathfrak{e};\nabla) + M(\nabla;\mathfrak{m}-\mathfrak{m};\nabla)\Big) +$$
$$+ \sum_i (\alpha_i\,\sigma_i + \beta_i\,\tau_i) : \Big((\nabla;\mathfrak{e}+\mathfrak{e};\nabla) + M(\nabla;\mathfrak{m}+\mathfrak{m};\nabla)\Big).$$

Das Differentialgesetz $(\mathrm{III}_i - \mathrm{III}_{ic})$, welches die Fluxion der antisymmetrischen Dyade $(\sigma_i - \sigma_{ic})$ bestimmt, enthält nur die räumliche Derivation

$$(\alpha_{1i}-\alpha_{2i})\Big((\nabla;\mathfrak{e}-\mathfrak{e};\nabla) + M(\nabla;\mathfrak{m}-\mathfrak{m};\nabla)\Big),$$

welche nicht unendlich wird, da nach (119) und (120) $\mathfrak{f}_\nu \times \mathfrak{e} + M(\mathfrak{f}_\nu \times \mathfrak{m}) = 0$ ist. Die erste Zeile der rechten Seite von 124) bewirkt also keinesfalls eine unendliche Energieproduktion in der Grenzschicht.

76. Antisymmetrie der Dyade $\sum_i(\alpha_i\,\sigma_i + \beta_i\,\tau_i)$. Da die symmetrische Derivation

$$(\nabla;\mathfrak{e} + \mathfrak{e};\nabla) + M(\nabla;\mathfrak{m} + \mathfrak{m};\nabla)$$

in der dünnen Grenzschicht fast immer ungemein hohe Werte annehmen wird, wird die zweite Zeile der rechten Seite von (124) nur dann identisch verschwinden, wenn die Dyade $\Sigma(\alpha\,\sigma_i + \beta_i\,\tau_i)$ stets rein antisymmetrisch ist. Die Konstantenbedingungen, welche dies sichern, werden wir weiter unten im § 78 feststellen. Infolge dieser von dem Energieprinzipe geforderten Antisymmetrie lassen sich diese Dyade und die dual analoge in der Form darstellen

$$125)\qquad \sum_i(\alpha_i\,\sigma_i + \beta_i\,\tau_i) = c_0\,\mathfrak{w} \times I, \qquad \sum_i(\alpha_i'\,\sigma_i + \beta_i'\,\tau_i) = c_0\,\mathfrak{w}^* \times I$$

77. Die Fresnel'schen Reflexionsformeln für dispergierende und absorbierende Medien. Die elektromagnetischen Differentialgesetze I und II lassen sich nach (125) in einer Form darstellen, welche nur die räumlichen Derivationen

$$c_0\nabla \times (\mathfrak{m}-\mathfrak{w}), \text{ beziehungsweise } c_0\nabla \times (\mathfrak{e} + \mathfrak{w}^*)$$

enthält und die rotorischen Grenzbedingungen (119) und (120) lauten daher:

$$126)\ \mathfrak{k}_\nu \times (\mathfrak{m} - \mathfrak{w}) = 0, \text{ bzw. } 127)\ \mathfrak{k}_\nu \times (\mathfrak{e} + \mathfrak{w}^*) = 0.$$

Der Energiefluß hat den Wert $\mathfrak{s} = c_0\, \mathfrak{e} \times \mathfrak{m} + c_0\, \mathfrak{w} \times \mathfrak{e} + c_0\, \mathfrak{w}^* \times \mathfrak{m}$ oder da $\mathfrak{w}^* = M\mathfrak{w}$, also $\mathfrak{w} \times \mathfrak{w}^* = 0$ ist

128) $$\mathfrak{s} = c_0 (\mathfrak{e} + \mathfrak{w}^*) \times (\mathfrak{m} - \mathfrak{w}).$$

Durch rotorische Multiplikation von (126) und (127) folgt, daß die Grenzbedingung

$$\mathfrak{k}_\nu \cdot \mathfrak{s} = \mathfrak{k} \cdot (\mathfrak{s}_{(1)} - \mathfrak{s}_{(2)}) = 0$$

erfüllt ist. Diese Grenzbedingungen haben dieselbe Form, wie die Grenzbedingungen der Maxwell'schen Theorie, nur treten in dispergierenden und absorbierenden Medien die Vektoren $(\mathfrak{e} + \mathfrak{w}^*)$, beziehungsweise $(\mathfrak{m} - \mathfrak{w}^*)$ an die Stelle von $\mathfrak{e}$, beziehungsweise $\mathfrak{m}$, doch gilt dies nicht für die Fluxionsglieder der elektromagnetischen Differentialgesetze. Aus diesen erhält man die Amplitudengleichungen:

$$129)\quad -p \frac{\varepsilon_0}{c_0} \mathfrak{e}' = \mathfrak{q} \times (\mathfrak{m}' - \mathfrak{w}'), \text{bzw. } 130)\quad -p \frac{\mu_0}{c_0} \mathfrak{m}' = -\mathfrak{q} - (\mathfrak{e}' + \mathfrak{w}^{*\prime}).$$

Man braucht aber nur die Gleichung (130) heranzuziehen, um mit ihr $\mathfrak{m}$ aus der Grenzbedingung (126) zu eliminieren. So erhält man folgende zwei Grenzbedingungen für die Amplituden des Lichtvektors $(\mathfrak{e} + \mathfrak{w}^*)$ bei der Reflexion und Brechung ebener transversaler Wellen:

$$131)\ \sum \pm \mathfrak{k} \times \left(\mathfrak{q} \times (\mathfrak{e} + \mathfrak{w}^*) - p \frac{\mu_0}{c_0} \mathfrak{w}\right) = 0, \text{ bzw. } 132)\ \sum \pm \mathfrak{k} \times (\mathfrak{e} + \mathfrak{w}^*) = 0.$$

Diese algebraischen Summen $\sum\pm$ sind über die einfallenden, reflektierten und gebrochenen Strahlen zu erstrecken, wobei für die von der Grenzfläche weggehenden Wellen $\mathfrak{k}$ mit umgekehrten Vorzeichen als für die einfallenden Wellen zu nehmen ist. Diese Grenzbedingungen sind analog zu den Grenzbedingungen der Maxwell-Fresnel'schen Theorie, wenn

$$133)\quad \mathfrak{w} = 0 \quad \text{oder} \quad 134)\quad \sum_i (\alpha_i \bar{\sigma}_i + \beta_i \bar{\tau}_i) = 0$$

ist. Damit verschwindet auch die rechte Seite von (121) und entfällt die Konstantenbedingung (122). Lohr nimmt sogar an, daß die Konstanten α_i und β_i sämtlich Null sind und nur die Konstanten α_i' und β_i' von Null verschieden sind. Er kann jedoch zeigen, daß selbst diese radikale Annahme auf die Theorie der Dispersion und Absorption ohne Einfluß ist. Wenn $\mathfrak{w} = 0$ ist, so vertritt in meiner Theorie der Lichtvektor $(\mathfrak{e} + \mathfrak{w}^*)$ sowohl in den Grenzbedingungen als in dem Energiefluß den Lichtvektor $\mathfrak{e}$ der Maxwell'schen Theoeie, während der zweite Lichtvektor in beiden Theorien der magnetische Vektor $\mathfrak{m}$ ist. Ferner ist $\mathfrak{w}^*$ transversal, denn die Amplitude dieses Vektors wird durch $\bar{\sigma}_r'$ und $\bar{\tau}_r'$ bestimmt, welche lineare homogene Funktionen der transversalen Vektoren $\mathfrak{q} \times \mathfrak{m}$ und $\mathfrak{q} \times \mathfrak{e}$ sind. Daher ist auch der Lichtvektor $(\mathfrak{e} + \mathfrak{w}^*)$ rein transversal, ferner zu $\mathfrak{m}$ senkrecht und beide Lichtvektoren haben das Größenverhältnis $\mu_0\, c/c_0$, wobei aber c die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der betreffenden Lichtfarbe in dem dispergierenden und absorbierenden Medium ist. Auch die Phasenverschiebung beider Lichtvektoren ist bei gegebener Absorption dieselbe wie in der Maxwell'schen Theorie. Daher folgen aus den Grenzbedingungen (131) und (132) für $\mathfrak{w} = 0$ für die Amplituden des Lichtvektors $(\mathfrak{e} + \mathfrak{w}^*)$ und damit des Lichtvektors $\mathfrak{m}$ der reflektierten und gebrochenen Strahlen und ebenso für den Energiefluß, also die Intensität derselben, die Fresnel'schen Reflexions- und Brechungsformeln auch für dispergierende und absorbierende Medien exakt aus meiner Theorie. Lohr gelangt zu diesem Resultate (l. c. II. Mitt., p. 658) durch dieselben (und weitergehende) Voraussetzungen und erreicht damit das Hauptziel seiner Untersuchung. Falls die

Konstanten α und β nicht verschwinden, und $\mathfrak{w}$ nicht Null ist, können höhere Reflexions- und Brechungserscheinungen eintreten.

78. Bedingungen für die Antisymmetrie der Dyade $\sum_i (\alpha_i' \bar{\sigma}_i + \beta_i' \bar{\tau}_i)$ und für das Verschwinden der Dyade $\sum_i (\alpha_i \bar{\sigma}_i + \beta_i \bar{\tau}_i)$. Die komplexen Amplituden σ' und τ' sind im § 54 angegeben. Hieraus folgt, wenn wir beispielshalber nur die elektrischen Derivationen ausführlich berücksichtigen:

$$\alpha \sigma' + \beta \tau' = A\, \mathfrak{q}; \mathfrak{e} + B\, \mathfrak{e}; \mathfrak{q} + A'\, \mathfrak{q}; \mathfrak{m} + B'\, \mathfrak{m}; \mathfrak{q}$$

$$\text{worin } A = -\frac{p}{D}\left(m(\alpha_1^2 + \alpha_2^2) + e(\beta_1^2 + \beta_2^2)\right) - \frac{i}{D}\left(x(\alpha_1^2 + \alpha_2^2) + c(\beta_1^2 + \beta_2^2) - (r+s)(\alpha_1 \beta_1 + \alpha_2 \beta_2)\right)$$

$$B = -\frac{p}{D}(2\, m\, \alpha_1 \alpha_2 + 2\, c\, \beta_1 \beta_2) - \frac{i}{D}\left(2\, x\, \alpha_1 \alpha_2 + 2\, c\, \beta_1 \beta_2 - (r+s)(\alpha_1 \beta_2 + \alpha_2 \beta_1)\right).$$

Die komplexen Bedingungen, daß die Dyade $\sum_i (\alpha_i \bar{\sigma}_i + \beta_i \bar{\tau}_i)$ antisymmetrisch ist, lauten

$$\sum_i (A_i + B_i) = 0 \quad \text{und} \quad \sum_i (A_i' + B_i') = 0$$

und haben die reelle Form:

$$135) \qquad \sum_i \frac{1}{D_i}\left(m_i(\alpha_{1i} + \alpha_{2i})^2 + e_i(\beta_{1i} + \beta_{2i})^2\right) = 0$$

$$136) \qquad \sum_i \frac{1}{D_i}\left(x_i(\alpha_{1i} + \alpha_{2i})^2 + c_i(\beta_{1i} + \beta_{2i})^2 - (r_i + s_i)(\alpha_{1i} + \alpha_{2i})(\beta_{1i} + \beta_{2i})\right) = 0.$$

Damit die Dyade $\sum_i (\alpha_i \bar{\sigma}_i + \beta_i \bar{\tau}_i)$ stets völlig verschwindet, wie dies nach (134) gefordert wird, müssen noch die komplexen Bedingungen erfüllt sein:

$$\sum_i (A_i - B_i) = 0 \text{ und } \sum_i (A_i' - B_i') = 0.$$

Im ganzen sind also nur acht reelle Konstantenbedingungen von der Art (135), (136) zu erfüllen. Die Bedingung (135) läßt sich allerdings nur dann erfüllen, wenn die energetischen Konstanten e_i und m_i nicht alle dasselbe Vorzeichen haben.

Damit der Energiefluß ebener Lichtwellen ihrem Energietransport gleich ist, muß nach (38) $r_i = s_i$ sein. Da die Eigenschwingungszahlen durch $p_{0i}^2 = -r_i s_i / e_i m_i$ bestimmt werden, folgt somit daß e_i und m_i stets entgegengesetztes Vorzeichen haben müssen, so daß die Bedingung (135) bei beliebigen Werten von α_{1i} α_{2i} β_{1i} β_{2i} stets leicht erfüllt werden kann. Es ist also nicht nötig, mit Lohr anzunehmen, das $\alpha_{1i} + \alpha_{2i} = 0$ und $\beta_{1i} + \beta_{2i} = 0$, das heißt, daß die anisotropen Anteile der stofflichen dyadischen Variablen rein antisymmetrisch sind. Immerhin muß eine geringe Unsymmetrie einer oder mehrerer dieser dyadischen Variablen vorhanden sein, da sonst die Dyade $\sum_i (\alpha_i \bar{\sigma}_i + \beta_i \bar{\tau}_i)$ nicht antisymmetrisch sein könnte.

79. Die skalaren Grenzbedingungen. Wir haben bisher vorausgesetzt, daß die dyadischen Derivationen $\alpha \nabla, \mathfrak{e}$ und $\beta \nabla, \mathfrak{e}$ skalarfrei sind. Damit wäre die elektrische Doppelbrechung und der Zeeman'sche Transversaleffekt nicht von der Betrachtung ausgeschlossen, wohl aber würden solche Medien die longitudinalen elektrischen Strahlen (Kathoden-, Anoden- und Kanalstrahlen, α- und β-Strahlen) nicht fortpflanzen können. Im allgemeinen Falle kommen zu den zwei rotorischen Grenzbedingungen (126) und (127) noch zwei skalare Grenzbedingungen hinzu, deren Erfüllung dadurch möglich ist, daß nun außer dem reflektierten und gebrochenen elliptisch polarisierten Lichtstrahl noch ein reflektierter und gebrochener Longitudinalstrahl auftreten muß. Wir geben den dyadischen elektrischen Derivationen im allgemeinen Falle die Form:

$$137) \qquad \alpha \nabla, \mathfrak{e} = \alpha_1 \nabla; \mathfrak{e} + \alpha_2\, \mathfrak{e}; \nabla - \frac{1}{3}(\alpha_1 + \alpha_2) \nabla \cdot \mathfrak{e} + a_3 \nabla \cdot \varepsilon_0\, \mathfrak{e}$$

$$\beta \nabla, \mathfrak{e} = \beta_1 \nabla; \mathfrak{e} + \beta_2\, \mathfrak{e}; \nabla - \frac{1}{3}(\beta_1 + \beta_2) \nabla \cdot \mathfrak{e} + b_3 \nabla \cdot \varepsilon_0\, \mathfrak{e}.$$

Es sind jetzt noch die skalaren Grenzbedingungen zu erfüllen:

$$138)\quad \mathfrak{k}_c \cdot \sum_i (a_{3i}\,\sigma_{is} + b_{3i}\,\tau_{is}) = 0, \qquad \text{und} \qquad 139)\quad \mathfrak{k}_r \cdot \varepsilon_0\, \mathfrak{e} = 0.$$

Letztere Grenzbedingung ist dann und nur dann von selbst erfüllt, wenn die Derivationen $\alpha\nabla, \mathfrak{e}$ und $\beta\nabla, \mathfrak{e}$ skalarfrei sind. Im allgemeinen Falle bildet sie eine inhaerente Grenzbedingung, welche aus der Energiegleichung folgt. Kehren wir zu der Energiegleichung 124) zurück, indem wir jetzt die skalaren Anteile von $\alpha\nabla, \mathfrak{e}$ und $\beta\nabla, \mathfrak{e}$, also die skalaren Anteile σ_{is} und τ_{is} der stofflichen Variablen berücksichtigen. Diese sind nach der Annahme 137) der Divergenz von $\varepsilon_0\,\mathfrak{e}$, also der räumlichen Ladungsdichte proportional. Damit die Energieproduktion in der Grenzschicht niemals unendlich wird, muß also nach 124) dafür gesorgt werden, daß die Ladungsdichte div $\varepsilon_0\,\mathfrak{e}$ in der Grenzschicht niemals unendlich wird, und dies fordert eben die skalare Grenzbedingung (139).

80. Anregung von Kathodenstrahlen durch ultraviolettes Licht. Bei der Reflexion an Nichtleitern sind die transversalen und longitudinalen Strahlen voneinander unabhängig. Lohr faßt die von Lenard nachgewiesene Anregung von Kathodenstrahlen durch ultraviolettes Licht als eine höhere Reflexionserscheinung auf, welche dadurch zustande kommt, daß bei der Reflexion eines Transversalstrahles an einem metallisch leitenden Spiegel die Grenzbedingung 139) nicht mehr von selbst erfüllt ist, also ein reflektierter und gebrochener Longitudinalstrahl (Kathodenstrahl) gleicher Schwingungszahl auftreten muß, damit nicht unendlich starke Ladungsschwingungen in der Grenzfläche auftreten. Da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Kathodenstrahlen viel kleiner ist als die des Lichtes, muß der reflektierte Kathodenstrahl nach dem Sinusgesetze der Reflexion sehr stark zum Lote reflektiert werden, das heißt nahezu senkrecht von der Kathode ausgehen.

81. Anregung von gerichteten polarisierten Röntgenstrahlen durch Kathodenstrahlen. Die auf die Antikathode auftreffenden Kathodenstrahlen regen eine transversale polarisierte Röntgenstrahlung an, welche gerichtet ist, das heißt annähernd unter gleichem Reflexionswinkel in größter Intensität auftritt. Bevor man mit Lohr auch diese Erscheinung als eine einfache (höhere) Reflexion auffaßt, wäre zu erwägen, daß dabei das Sinusgesetz der Reflexion schwerlich erfüllt ist, denn da die Röntgenstrahlen meist eine viel größere Fortpflanzungsgeschwindigkeit als die einfallenden Kathodenstrahlen haben, so müßte nach dem Sinusgesetze ihr Reflexionswinkel imaginär sein. Es müßte also noch angenommen werden, daß jene Kathodenstrahlen, welche die polarisierten Röntgenstrahlen anregen, eine an die Lichtgeschwindigkeit heranreichende Fortpflanzungsgeschwindigkeit haben.

82. Die diffuse Reflexion der Kathodenstrahlen kann man nicht durch ihre kleinen Wellenlängen und eine ultramikroskopische Rauhheit der reflektierenden Flächen erklären, denn die Kathodenstrahlen werden auch von frischen Kristallspaltflächen diffus reflektiert, welche die transversalen Röntgenstrahlen, die ebenfalls sehr kleine Wellenlängen haben, sehr regelmäßig reflektieren[1]. Es dürfte also eine regelmäßige Reflexion der Kathodenstrahlen wesentlich unmöglich sein, das heißt die Arbeitshypothese der inhaerenten Grenzbedingungen in diesem Falle versagen. Tatsächlich kann man das Auftreten physikalisch unendlich hoher Werte der physikalischen Variablen

---

[1] Daß es sich bei den Laue'schen Kristallröntgenogrammen wirklich um eine Reflexion der Röntgenstrahlen an ultramikroskopischen Spaltflächen der Kristalle handelt, hat Bragg dadurch endgültig nachgewiesen, daß er zeigte, daß eine stark aufgeblätterte Glimmerplatte die Röntgenstrahlen stärker reflektiert als eine unversehrte Glimmerplatte. Eine wesentlich periodische Struktur der (kontinuierlichen) kristallischen Medien von außerordentlicher Feinheit und Regelmäßigkeit wird durch die selektive Reflexion der Röntgenstrahlen an manchen (ausgewählten) Kristallspaltflächen unzweifelhaft gemacht, auf welcher die Bragg'sche Röntgenspektroskopie beruht. Aber auch diese fundamentale Erscheinung ist kein Beweis für die (punktgitterartige) Diskontinuität der Kristallmaterie, sondern nur für die (sinusgitterartige) periodische Struktur derselben, denn sie steht in Analogie mit dem bekannten Labradorisieren mancher (ausgewählter) Kristallflächen im sichtbaren Licht, welches ebenfalls eine selektive Reflexion des Lichtes darstellt, und auf eine sehr feine und regelmäßige Lamellierung des Labradors zurückzuführen ist, so daß man eine Lippmann'sche Farbenphotographie eine künstlich labradorisierende Platte nennen kann.

innerhalb der physikalisch unendlich dünnen Grenzschicht zwischen zwei verschiedenen Medien nicht prinzipiell ausschließen. Es haben doch zum Beispiel die Spannungsdyade der Oberflächenspannung (siehe wie unten Abschnitt VI) und damit die realen dyadischen Variablen in der Oberflächenschicht physikalisch unendliche Werte. Ferner hat in den Oberflächen geladener Leiter die Ladungsdichte und damit haben nach 137) und nach den Differentialgesetzen III_i IV_i die skalaren Variablen $\bar{\sigma}_{is}$ und $\bar{\tau}_{is}$ in diesen Oberflächenschichten physikalisch unendliche Werte.

83. Höhere optische Reflexionserscheinungen. Das wichtigste Ziel der Untersuchung Lohr's mußte der Nachweis sein, daß es nach meiner Theorie Medien geben kann, welche dispergieren, absorbieren, optisch aktiv sind, elektrische Doppelbrechung und magnetische Drehung der Polarisationsebene zeigen und für welche dennoch für monochromatisches Licht jeder Farbe exakt nur die Fresnel'schen elementaren Reflexionserscheinungen eintreten: Aber die Konstantenbeziehungen, insbesondere (134), welche ein derartiges ideales Medium erfüllen müßte, sind sicher für allgemeine Medien nicht oder nur mit Annäherung erfüllt. Man hat hiernach Abweichungen von den Fresnel'schen Reflexionserscheinungen, welche wir als höhere Reflexionserscheinungen bezeichnen wollen, zu erwarten, welche freilich meist nur gering sein werden. Zunächst wäre es aussichtsreich, Reflexionbeobachtungen an anomal dispergierenden Spiegeln (zum Beispiel Flächen von Fuchsin) für Licht, dessen Schwingungszahl in der Nähe der Eigenschwingungszahl des reflektierenden Mediums liegt, zu machen. Linear polarisiertes Licht muß nach der Reflexion an optisch aktiven Medien (etwas elliptisch polarisiert sein und) eine Drehung der Polarisationsebene aufweisen. Dies ist im wesentlichen eine elementare Reflexionserscheinung, welche schon aus den Maxwell'schen Grenzbedingungen folgt (wegen der Zerlegung des gebrochenen Strahles in zwei entgegengesetzt zirkularpolarisierte Strahlen), doch sind dabei höhere Reflexionserscheinungen zu erwarten. Ferner dürfte die elliptische Polarisation des reflektierten Lichtes, die an nicht völlig frischen reflektierenden Flächen eintritt, zum Teil als höhere Reflexionserscheinung aufzufassen sein. Das Kerr'sche Phänomen ist ebenfalls größtenteils eine elementare Reflexionserscheinung, welche als Folge des Auftretens der überaus starken magnetischen Drehung der Polarisationsebene im Eisen (wenn das magnetische Feld $\mathfrak{m}_0$ senkrecht zur Oberfläche des Eisenspiegels steht), beziehungsweise der magnetischen Doppelbrechung des Eisens (wenn $\mathfrak{m}_0$ parallel zur Eisenoberfläche ist) betrachtet werden kann. Im letzteren Falle wurden aber von Zeeman bereits einige höhere Reflexionserscheinungen nachgewiesen. Auch bei der Reflexion an der Oberfläche elektrisch doppelbrechender Medien (Nitrobenzol, Schwefelkohlenstoff) im starken elektrostatischen Felde müßten nach meiner Theorie höhere Reflexionserscheinungen (Reflexion von Longitudinalstrahlen) auftreten, weil das Licht in solchen Medien und im starken Felde nicht rein transversal ist.

III. Wirkungen der raschen Deformation des Mediums.

11. Elektromagnetische Vorgänge in bewegten Medien.

84. Das Kundt'sche Phänomen, das ist die Doppelbrechung rasch deformierter Medien, läßt erkennen, daß die dielektrische Variable $\bar{\bar{\varepsilon}}$ der Deformationsgeschwindigkeit proportional ist. Da diese eine lineare Funktion der stofflichen Variablen $\bar{\sigma}_i$ und $\bar{\tau}_i$ ist, gilt ein gleiches auch von diesen und die dyadischen Differentialgesetze haben daher in einem rasch deformierten Medium (ohne höhere optische Eigenheiten) die Form

$$\mathrm{III}_i)\qquad e_i : \frac{d\bar{\sigma}_i}{dt} + r_i \bar{\tau}_i + c_i \bar{\sigma}_i + \left[[\nabla \times \mathfrak{v}] \cdot \alpha_i'' \right] = 0$$

$$\mathrm{IV}_i)\qquad m_i : \frac{d\bar{\tau}_i}{dt} + s_i \bar{\sigma}_i + \varkappa_i \bar{\tau}_i + \left[[\nabla \times \mathfrak{v}] \cdot \beta_i'' \right] = 0 .$$

Die eckigen Klammern deuten an, daß von der betreffenden Dyade der symmetrische Teil zu nehmen ist. Obgleich die Materialkoeffizienten α_i'' und β_i'' in anisotropen Medien dyadische Konstante sein können, ist durch diesen Ansatz doch die Symmetrie der dyadischen Variablen σ_i und τ_i gesichert. d/dt ist der Operator der materiellen Fluxion, welche so definiert wird, daß sie für einen starren Raumteil der Materie die Fluxion in bezug auf ein in demselben festgelegtes Koordinatensystem ist. Es ist also

140) $$\frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial\sigma}{\partial t} + \mathfrak{v}\cdot\nabla;\sigma + \frac{1}{2}\sigma \times \operatorname{rot}\mathfrak{v} - \frac{1}{2}\operatorname{rot} \times \sigma.$$

85. Wir betrachten zunächst isotrope Medien, in welche s_i m_i α_i'' und β_i'' als skalare Koeffizienten angesehen werden können. Für diese gilt:

141) $$\bar{\sigma}_i = \frac{1}{r_i s_i - c_i x_i}\left((\alpha_i'' x_i - \beta_i'' r_i)[\nabla \times \mathfrak{v}] + c_i x_i \frac{d\sigma_i}{dt} - m_i r_i \frac{d\tau_i}{dt}\right)$$

142) $$\bar{\tau}_i = \frac{1}{r_i s_i - c_i x_i}\left((\beta_i'' c_i - \alpha_i'' s_i)[\nabla \times \mathfrak{v}] + c_i s_i \frac{d\sigma_i}{dt} - m_i c_i \frac{d\tau_i}{dt}\right).$$

Da sowohl der dielektrische und diamagnetische Koeffizient ε und μ als die elektrische und magnetische Leitfähigkeit γ und ξ linear von den $\bar{\sigma}_i$ und $\bar{\tau}_i$ abhängen

$$\bar{\varepsilon} = \varepsilon - \varepsilon_0 = \sum_i (\varepsilon_{1i}\bar{\sigma}_i + \varepsilon_{2i}\bar{\tau}_i)\ , \quad \bar{\mu} = \mu - \mu_0 = \sum_i (\mu_{1i}\bar{\sigma}_i + \mu_{2i}\bar{\tau}_i)$$

$$\bar{\gamma} = \gamma - \gamma_0 = \sum_i (\gamma_{1i}\bar{\sigma}_i + \gamma_{2i}\bar{\tau}_i)\ , \quad \bar{\xi} = \sum_i (\xi_{1i}\bar{\sigma}_i + \xi_{2i}\bar{\tau}_i)$$

so ist es leicht, den zahlreichen Materialkonstanten ε_{1i} ε_{2i} μ_{1i} μ_{2i} γ_{1i} γ_{2i} ξ_{1i} und ξ_{2i} jene vier Bedingungen aufzuerlegen, aus welchen nach 141) und 142) folgende Werte der akzidentiellen Leitfähigkeiten sich ergeben:

143) $$\bar{\gamma} = -[\nabla \times \mathfrak{v}]\cdot\varepsilon + \bar{\omega}\frac{d\varepsilon}{dt}$$

144) $$\bar{\xi} = -[\nabla \times \mathfrak{v}]\cdot\mu + \frac{1}{2}\frac{d\mu}{dt}$$

Hieren ist $\bar{\omega}$ eine Materialkonstante, über deren Wert wir uns die Verfügung noch vorbehalten. Zu beachten ist, daß als Faktoren von $[\nabla \times \mathfrak{v}]$ die variablen Koeffizienten ε und μ erscheinen. Es wird damit vorausgesetzt, daß die Keoffiziententen α_i'' und β_i'' in demselben Maße variabel sind als die Koeffizienten ε und μ, also ebenfalls von den Variablen σ_i und τ_i abhängen. Wir kommen darauf bei der Elastizitätstheorie (Kapitel 14) zurück.

86. Die elektromagnetischen Differentialgesetze für ein relativ ruhendes (das heißt sich in der ganzen Ausdehnung des elektromagnetischen Feldes wie ein starres bewegendes) Medium lauten

I) $$[\varepsilon]\cdot\frac{d\mathfrak{e}}{dt} + \frac{1}{2}\frac{d\varepsilon}{dt}\cdot\mathfrak{e} + \gamma\cdot\mathfrak{e} = c_0 \operatorname{rot}\mathfrak{m}$$

II) $$[\mu]\cdot\frac{d\mathfrak{m}}{dt} + \frac{1}{2}\frac{d\mu}{dt}\cdot\mathfrak{m} + \xi\cdot\mathfrak{m} = -c_0 \operatorname{rot}\mathfrak{e}.$$

Für ein relativ ruhendes Medium ist nämlich zwischen den materiellen Fluxionen d/dt und den auf ein in diesem Medium festgelegten Koordinationsystem bezogenen lokalen Fluxionen $\partial/\partial t$ kein Unterschied. Meiner Theorie der elektromagnetischen Vorgänge in bewegten Medien liegt die Annahme zugrunde, daß diese für ruhende Medien geltenden Differentialgesetze unverändert auch für allgemein bewegte, also beliebig rasch deformierte Medien gelten.

In diesem allgemeinen Falle haben die aus energetischen Gründen (vgl. § 7) eingeführten Glieder $\frac{1}{2}\frac{d\varepsilon}{dt}\cdot\mathfrak{e}$ und $\frac{1}{2}\frac{d\mu}{dt}\cdot\mathfrak{m}$ einen sehr großen, nicht selten ungemein großen Einfluß[1]. Denn die Koeffizienten ε und μ hängen, wenn auch nur im geringen Maße so doch merklich, von der Deformationsgeschwindigkeit $[\nabla \times \mathfrak{v}]$ ab, diese ist aber in den Gleitschichten (Schmierschichten) zwischen zwei starren, sich in einer physikalischen Fläche berührenden, verschieden bewegten Körpern ungemein groß. Es ist bekannt, daß die exakte Berücksichtigung des großen Einflusses dieser Gleitschichten schon für die Maxwell-Hertz'sche Theorie von entscheidender Bedeutung ist, noch vielmehr gilt dies für meine Theorie. Setzt man die Werte der Leitfähigkeiten $\gamma = \gamma_0 + \bar{\gamma}$ und $\xi = \bar{\xi}$ nach (143) und (144) in die elektromagnetischen Differentialgesetze ein, so nehmen dieselben die Form an:

$$\text{I}')\qquad [\varepsilon]\cdot\frac{d\mathfrak{e}}{dt} + \left(\frac{1}{2} + \bar{\omega}\right)\frac{d\varepsilon}{dt}\cdot\mathfrak{e} + \gamma_0\cdot\mathfrak{e} - [\nabla \times \mathfrak{v}]\cdot\varepsilon\cdot\mathfrak{e} = c_0 \operatorname{rot}\mathfrak{m}$$

$$\text{II}')\qquad [\mu]\cdot\frac{d\mathfrak{m}}{dt} + \frac{d\mu}{dt}\cdot\mathfrak{m} - [\nabla \times \mathfrak{v}]\cdot\mu\cdot\mathfrak{m} = -c_0 \operatorname{rot}\mathfrak{e}.$$

Nimmt man $\bar{\omega} = \frac{1}{2}$ und berücksichtigt, daß nach III$_i$) IV$_i$) σ_i und τ_i, also auch ε und μ stets symmetrisch sind, so ist

$$[\varepsilon]\cdot\frac{d\mathfrak{e}}{dt} = \varepsilon\cdot\frac{d'\mathfrak{e}}{dt} + \frac{1}{2}\varepsilon\cdot(\mathfrak{e}\times\operatorname{rot}\mathfrak{v}),\ \text{ferner:}\ \frac{d\varepsilon}{dt}\cdot\mathfrak{e} = \frac{d'\varepsilon}{dt}\cdot\mathfrak{e} + \frac{1}{2}(\varepsilon\times\operatorname{rot}\mathfrak{v})\cdot\mathfrak{e} - \frac{1}{2}(\operatorname{rot}\mathfrak{v}\times\varepsilon)\cdot\mathfrak{e}$$

$$-[\nabla\times\mathfrak{v}]\cdot\varepsilon\cdot\mathfrak{e} = -(\nabla\times\mathfrak{v})\cdot\varepsilon\cdot\mathfrak{e} + \frac{1}{2}(\operatorname{rot}\mathfrak{v}\times\varepsilon)\cdot\mathfrak{e}.$$

Hierin ist $d'/dt = \partial/\partial t + \mathfrak{v}\cdot\nabla$; der Operator der totalen Fluxion, das ist die Fluxion in bezug auf ein Koordinatensystem, welches die Geschwindigkeit $\mathfrak{v}$ hat, aber sich nicht mit dem materiellen Teile dreht. Die Glieder, welche rot $\mathfrak{v}$ enthalten, heben sich auf und man erkennt daher, daß die Gleichungen (I') und (II') exakt die Form der Maxwell-Hertz'schen Gleichungen haben:

$$\varepsilon\cdot\frac{d'\mathfrak{e}}{dt} + \frac{d'\varepsilon}{dt}\cdot\mathfrak{e} + \gamma_0\cdot\mathfrak{e} - (\nabla\times\mathfrak{v})\cdot\varepsilon\cdot\mathfrak{e} = c_0\operatorname{rot}\mathfrak{m}$$

$$\mu\,\frac{d'\mathfrak{m}}{dt} + \frac{d'\mu}{dt}\cdot\mathfrak{m} - (\nabla\times\mathfrak{v})\cdot\mu\cdot\mathfrak{m} = -c_0\operatorname{rot}\mathfrak{e}$$

87. Die Differentialgesetze I und II sind aber den Maxwell-Hertz'schen noch dadurch überlegen, daß sie die Reibungselektrisierung darstellen, und zwar gibt es zwei Ursachen derselben. Die erste liegt in dem arbiträren Werte der Materialkonstanten ω, dieser Anteil des reibungselektrischen Stromes hat den Wert

$$\left(\bar{\omega} - \frac{1}{2}\right)\frac{d\varepsilon}{dt}\cdot\mathfrak{e},$$

welcher in den Gleitschichten (Reibungsschichten, Schmierschichten) beträchtlich ist. In einer ebenen Gleitschicht, in welcher auf die Dicke $\mathfrak{n}$ der Geschwindigkeitsabfall $\mathfrak{v}_0$ besteht, ist der Wirbel $\operatorname{rot}\mathfrak{v} = \frac{1}{\mathfrak{n}}\times\mathfrak{v}_0$ vorhanden, und ist zufolge der Kundt'schen Doppelbrechung ε anisotrop

$$145)\qquad \varepsilon = \varepsilon_0 + u\,[\nabla\times\mathfrak{v}]$$

worin u eine Materialkonstante ist. In der ebenen Gleitschicht ist

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \frac{1}{2}\,u\left(\mathfrak{v}_0\,;\,\frac{1}{\mathfrak{n}} + \frac{1}{\mathfrak{n}}\,;\,\mathfrak{v}_0\right)\ \text{und}\ \frac{d'\varepsilon}{dt} = 0,\ \text{also:}$$

[1] Dies übersicht Lohr (Wien. Akad. 122 (1913), p. 1493), welcher diese Glieder vernachlässigen zu dürfen glaubt.

$$\left(\bar{\omega} - \frac{1}{2}\right)\frac{d\varepsilon}{dt} \cdot \mathfrak{e} = \frac{1}{2}\left(\bar{\omega} - \frac{1}{2}\right) u \frac{\mathfrak{v}_0^2}{\mathfrak{n}^2}\left(\mathfrak{n}; \frac{1}{\mathfrak{n}} - \mathfrak{v}_0; \frac{1}{\mathfrak{v}_0}\right) \cdot \mathfrak{e}.$$

Wenn also ein elektrisches Feld $\mathfrak{e}$ von der Richtung der Normale $\mathfrak{n}$ der Reibungsschicht gegeben ist (anfänglich vielleicht durch kontaktelektrische Wirkung), so tritt ein reibungselektrischer Strom auf, welcher das gegebene elektrische Feld fortschreitend verstärkt, wenn $(\bar{\omega} - \frac{1}{2})u$ negativ ist.

Die zweite Ursache der Reibungselektrisierung ist darin zu suchen, daß in dem Deformationsstrome $-[\nabla \times \mathfrak{v}] \cdot \varepsilon \cdot \mathfrak{e}$ der Koeffizient ε zufolge 145) selbst von der Deformationsgeschwindigkeit linear abhängt. Hiernach zerfällt der Deformationsstrom in zwei Teile:

$$-[\nabla \times \mathfrak{v}] \cdot \varepsilon \cdot \mathfrak{e} = -[\nabla \times \mathfrak{v}] \cdot \varepsilon_0 \cdot \mathfrak{e} - u[\nabla \times \mathfrak{v}] \cdot [\nabla \times \mathfrak{v}] \cdot \mathfrak{e}.$$

Der erste Teil, welcher der Deformationsgeschwindigkeit $[\nabla \times \mathfrak{v}]$ proportional ist, ist der Rowlandstrom, der zweite Teil, welcher dem Quadrate der Deformationsgeschwindigkeit proportional ist, ist ein reibungselektrischer Strom, welcher das gegebene elektrische Feld fortschreitend verstärkt, wenn u positiv ist.

88. Damit das Gleichungssystem auch die höheren Strahlungserscheinungen (Dispersion, Drehung der Polarisationsebene, Absorption des Lichtes, elektrooptische und magnetooptische Erscheinungen, Kathodenstrahlung und andere Longitudinalstrahlungen) in bewegten Medien darstellt, müssen die elektromagnetischen Gleichungen I) II) mit den stofflichen Gleichungen III$_i$) IV$_i$) durch jene räumlichen Derivationen verkoppelt werden, welche wir im ersten Teile dieser Abhandlung angegeben haben. Im allgemeinen Falle hat also das Gleichungssystem die Form:

I) $$[\varepsilon] \cdot \frac{d\mathfrak{e}}{dt} + \frac{1}{2}\frac{d\varepsilon}{dt} \cdot \mathfrak{e} + \gamma \cdot \mathfrak{e} + \sum_i (\alpha_i \bar{\sigma}_i + \beta_i \bar{\tau}_i) = c_0 \nabla \times \mathfrak{m}$$

II) $$[\mu] \cdot \frac{d\mathfrak{m}}{dt} + \frac{1}{2}\frac{d\mu}{dt} \cdot \mathfrak{m} + \xi \cdot \mathfrak{m} + \sum_i (\alpha_i' \bar{\sigma}_i + \beta_i' \bar{\tau}_i) = -c_0 \nabla \times \mathfrak{e}$$

III$_i$) $$e_i : \frac{d\sigma_i}{dt} + r_i \bar{\tau}_i + c_i \bar{\sigma}_i + \alpha_i \dot{\nabla}, \mathfrak{e} + \alpha_i' \nabla, \mathfrak{m} + \left[[\nabla \times \mathfrak{v}] \cdot \alpha_i''\right] = 0$$

IV$_i$) $$m_i : \frac{d\tau_i}{dt} + s_i \bar{\sigma}_i + x_i \bar{\tau}_i + \beta_i \nabla, \mathfrak{e} + \beta_i' \nabla, \mathfrak{m} + \left[[\nabla \times \mathfrak{v}] \cdot \beta_i''\right] = 0.$$

89. Dieses Gleichungssystem stellt jedoch die Phänomene von Röntgen, Wilson und Eichenwald, die Aberration des Lichtes und die Fizeau'sche Mitführung des Lichtes nicht richtig dar. Meine Versuche, auch diese Relativitätsphänomene in den Kreis der Betrachtung zu ziehen, ohne die Einfachheit des Gleichungssystems zu opfern, führten zu (vielleicht nach gewissen Richtungen bemerkenswerten aber im ganzen) vollkommen unbefriedigenden Resultaten.

Hingegen hat E. Lohr[1] folgende Lösung gegeben: Damit das Gleichungssystem die Relativitätsphänomene (Aberration, Doppler'sches Phänomen, Fizeau'sche Mitführung, Michelson'schen Versuch, Phänomene von Röntgen, Wilson und Eichenwald) richtig, und zwar in derselben Weise wie die Cohn'sche Theorie darstellt, muß in allen räumlichen Derivationen der elektromagnetischen und der stofflichen Variablen statt des Operators ∇ der Operator

$$\nabla' = \nabla + \frac{1}{c_0^2}\left(\mathfrak{v}\frac{d}{dt} + \frac{d\mathfrak{v}}{dt}\right)$$

eingesetzt werden. Die räumlichen Derivationen der Geschwindigkeitsverteilung behalten aber unverändert den Operator ∇. Ferner muß in den akzidentiellen Leitungsgliedern $\gamma \cdot \mathfrak{e}$ und $\xi \cdot \mathfrak{m}$ an Stelle von $\mathfrak{e}$, beziehungsweise $\mathfrak{m}$ die elektrische, beziehungsweise magnetische Erregung

---

[1] E. Lohr, Zu G. Jaumann's elektromagnetischer Theorie für bewegte Medien, Wien. Akad. 122 (1913), p. 1508.

$$\mathfrak{D} = [\varepsilon]\cdot\mathfrak{e} + \frac{1}{c_0}\,\mathfrak{m}\times\mathfrak{v}, \quad \mathfrak{B} = [\mu]\cdot\mathfrak{m} - \frac{1}{c_0}\,\mathfrak{e}\times\mathfrak{v}$$

gesetzt werden. Diese Lohr'sche Lösung ist in bezug auf die Gleitschichten noch nicht exakt und gilt nur für ein Medium, welches keine Kundt'sche Doppelbrechung zeigt, doch enthält sie einen bedeutenden Fortschritt, da sie die Relativitätsphänomene in dispergierenden und absorbierenden Medien richtig darstellt. Dafür müßte man die Einfachheit des Gleichungssystems opfern. Im folgenden werden daher die Relativitätsphänomene von der Betrachtung ausgeschaltet.

12. Theorie der Zähigkeit.

90. Wie glücklich die Annahme ist, daß die rasche Deformation des Mediums keine anderen elektromagnetischen Wirkungen hat, als daß die Materialkoeffizienten ε, μ, γ und ξ des Mediums akzidentielle anisotrope Änderungen erfahren, geht daraus hervor, daß unmittelbar aus dieser Annahme also aus den dyadischen Differentialgesetzen III$_i$) und IV$_i$) die Erscheinungen der Zähigkeit und Elastizität folgen. Die neuen Glieder $\left[[\nabla\times\mathfrak{v}]\cdot\alpha_i''\right]$ dieser neuen Differentialgesetze, welche die Wirkung der Deformationsgeschwindigkeit $[\nabla\times\mathfrak{v}]$ auf die dyadischen Variablen σ_i und τ_i angeben, müssen nur noch mit dem Energieprinzip in Übereinstimmung gebracht werden.

Da sie eine räumliche Derivation enthalten, tragen dieselben zu der Divergenz des Energieflusses bei, und zwar tragen sie (nach Multiplikation von III$_i$ und IV$_i$ mit den Energiefaktoren $\bar{\sigma}_i:$, beziehungsweise $\bar{\tau}_i:$) folgenden Wert zu der Energiegleichung bei:

$$\sum_i\left(\bar{\sigma}_i:\left[[\nabla\times\mathfrak{v}]\cdot\alpha_i''\right] + \bar{\tau}_i:\left[[\nabla\times\mathfrak{v}]\cdot\beta_i''\right]\right) = \sum_i\left(\left[\alpha_{ic}''\cdot[\bar{\sigma}_i]\right]:\nabla\times\mathfrak{v} + \left[\beta_{ic}''\cdot[\bar{\tau}_i]\right]:\nabla\times\mathfrak{v}\right).$$

Derselbe bedarf zu seiner Ergänzung zu der Divergenz des dynamischen Energieflusses $\mathfrak{S}_1 = \theta_1\cdot\mathfrak{v}$ des Betrages $\mathfrak{v}\cdot\nabla\cdot\theta_1$, worin

146) $$\theta_1 = \sum_i\left(\left[\alpha_{ic}''\cdot[\bar{\sigma}_i] + \beta_{ic}''\cdot[\bar{\tau}_i]\right] - (\alpha_{ic}''\cdot[\bar{\sigma}_i] + \beta_{ic}''\cdot[\bar{\tau}_i])_s\right).$$

91. Der Betrag $\mathfrak{v}\cdot\nabla\cdot\theta_1$ kann nur aus der Bewegungsgleichung stammen, welche bei Bildung der Energiegleichung mit $\mathfrak{v}$ multipliziert wird und die Form hat:

O) $$\rho\frac{d'\mathfrak{v}}{dt} + \nabla\cdot\theta = 0,$$

worin ρ die Dichte, $\frac{d'\mathfrak{v}}{dt}$ die Beschleunigung und θ die Spannungsdyade ist. Es ist also durch (146) eine Spannungsdyade bestimmt, welche eine stoffliche Eigenschaft des Mediums ist, da sie nur von Materialkonstanten und von den stofflichen Variablen $\bar{\sigma}_i$ und $\bar{\tau}_i$ abhängt. Früher war nur eine stoffliche Spannungsdyade bekannt, nämlich der nur von Dichte und Temperatur abhängende isotrope Druck p in idealen Flüssigkeiten und in Gasen. Die anisotrope stoffliche Spannungsdyade θ_1 bestimmt aber alle Kraftwirkungen mit Ausschluß der Gravitationswirkungen, doch kommt zu derselben außer dem Druck p noch der Energiedruck $(-E + \rho\,\partial E/\partial\rho)$, so daß die gesamte Spannungsdyade den Wert hat

147) $$\theta = p + \theta_1 - (E - \rho\,\partial\bar{E}/\partial\rho),$$

worin E der gesamte Energieinhalt pro Volumseinheit ist. Die Bewegungsgleichung O) gibt also noch den Betrag

$$-\mathfrak{v}\cdot\nabla E + \mathfrak{v}\cdot\nabla(\rho\partial\bar{E}/\partial\rho)$$

an die Energiegleichung ab, welcher zu der Divergenz des dynamischen Energieflusses $\mathfrak{v}\cdot\theta$ ergänzt wird: 1. durch den Fehlbetrag $-E \operatorname{div} \mathfrak{v}$, welcher die totale Fluxion dE/dt der Energie zu der materiellen Fluxion $\delta E/\delta t = dE/dt + E \operatorname{div} \mathfrak{v}$ ergänzt und 2) durch das aus der Kontinuitätsgleichung

$$\text{VI.} \qquad \frac{d\rho}{dt} + \rho \operatorname{div} \mathfrak{v} = 0,$$

welche bei der Bildung der Energiegleichung mit $\partial \bar{E}/\partial \rho$ multipliziert wird, stammende Glied $\rho \partial \bar{E}/\partial \rho \operatorname{div} \mathfrak{v}$. Es ist $\bar{E}$ die gesamte Energie pro Volumseinheit, jedoch mit Ausschluß der elektromagnetischen Energie, deren Abhängigkeit von der Dichte in anderer Weise berücksichtigt werden kann.

92. Hier vereinfachen wir die Voraussetzungen zunächst so weit, daß die allgemeine stoffliche Spannungsdyade θ_1 [Gleichung (146)] nur die Zähigkeitsspannungen in einer isotropen Flüssigkeit bei Abwesenheit eines elektromagnetischen Feldes darstellt.

Nehmen wir zunächst an, daß die Deformationsgeschwindigkeit $[\nabla \times \mathfrak{v}]$ der Flüssigkeit von der Zeit unabhängig ist und anfänglich die Abweichungen $\bar{\sigma}_i$ und $\bar{\tau}_i$ der stofflichen Variablen von dem normalen Zustand Null sind. Dann erfolgt nach III_i und IV_i zunächst keine Wärmeproduktion, sondern eine Produktion stofflicher Energie, nämlich eine rasche Fluxion der stofflichen Variablen $\bar{\sigma}_i$ und $\bar{\tau}_i$, so daß dieselben die Werte erreichen

$$148) \qquad \bar{\sigma}_i = \frac{\alpha_i'' x_i - \beta_i'' r_i}{r_i s_i - c_i x_i} [\nabla \times \mathfrak{v}] \qquad \bar{\tau}_i = \frac{\beta_i'' c_i - \alpha_i'' s_i}{r_i s_i - c_i x_i} [\nabla \times \mathfrak{v}]$$

Diese Proportionalität zwischen den Abweichungen $\bar{\sigma}_i$ und $\bar{\tau}_i$. und der Deformationsgeschwindigkeit wird (der Kleinheit der energetischen Konstanten e_i und m_i, also der Raschheit der Fluxionen wegen) auch dann mit großer Annäherung vorhanden bleiben, wenn sich die Deformationsgeschwindigkeit langsam mit der Zeit ändert. Da das Energieprinzip das Auftreten der stofflichen Spannungsdyade θ_1 (146) fordert, so müssen in rasch deformierten Medien Spannungen auftreten, welche der Deformationsgeschwindigkeit $[\nabla \times \mathfrak{v}]$ proportional sind, und dies sind die Zähigkeitsspannungen. Ferner fordert das Energieprinzip das Auftreten der stofflichen Wärmeproduktion

$$149) \qquad \underset{\sim}{Q} = \sum_i \left(c_i \bar{\sigma}_i : \bar{\sigma}_i + x_i \bar{\tau}_i : \bar{\tau}_i + (r_i + s_i) \bar{\sigma}_i : \bar{\tau}_i \right),$$

welche zum Beispiel bei der Absorption elektrischer Strahlen (vgl. §§ 6 und 52) auftritt. Von gleicher Natur ist nach meiner Theorie die Reibungswärme oder Wärmeproduktion in zähen, rasch deformierten Flüssigkeiten. Setzt man den Wert (148) von $\bar{\sigma}_i$ und $\bar{\tau}_i$ in (146) und (149) ein, so ergibt sich:

$$\theta_1 = K(\nabla \times \mathfrak{v}] \text{ und } \underset{\sim}{Q} = K[\nabla \times \mathfrak{v}] :]\nabla \times \mathfrak{v}]$$

in Übereinstimmung mit den Stokes'schen Gesetzen, worin der Zähigkeitsmodul K als Funktion der Materialkonstanten von III_i und IV_i erscheint.

13. Akzidentielle Leitungsströme im homogenen elektromagnetischen Felde. Die elektromagnetische Spannungsdyade.

93. Die Leitungsströme $\gamma\cdot\mathfrak{e}$ und $\xi\cdot\mathfrak{m}$ geben an die Energiegleiuhung die Beträge $\mathfrak{e}\cdot\gamma\cdot\mathfrak{e}$, beziehungsweise $\mathfrak{m}\cdot\xi\cdot\mathfrak{m}$ ab, welche durch aus anderen Differentialgesetzen stammende gleiche und entgegengesetzte Energiebeträge kompensiert werden müssen, da sie nicht explizit in der Energiegleichung auftreten. Der durch die normale Leitfähigkeit γ_0 bestimmte gewöhnliche Leitungsstrom $\gamma_0\cdot\mathfrak{e}$ erzeugt als Stromeffekt die wesentlich positive Wärmeproduktion $\mathfrak{e}\cdot\gamma_0\cdot\mathfrak{e}$. Die akzidentiellen Stromeffekte $\mathfrak{e}\cdot\bar{\gamma}\cdot\mathfrak{e} + \mathfrak{m}\cdot\bar{\xi}\cdot\mathfrak{m}$ sind jedoch ebenso wie $\bar{\gamma}$ und $\bar{\xi}$ nicht stets positiv und können daher

mit Rücksicht auf das Entropieprinzip nicht in der Wärmegleichung kompensiert werden. Hingegen bietet sich die Kompensation des akzidentiellen Stromeffektes

$$\mathfrak{e} \cdot \gamma \cdot \mathfrak{e} = \mathfrak{e} \cdot \sum_i (\gamma_{1i} \sigma_i + \gamma_{2i} \tau_i) \cdot \mathfrak{e} = \sum_i (\gamma_{1i} \sigma_i + \gamma_{2i} \tau_i) : \mathfrak{e} ; \mathfrak{e}$$

in den dyadischen Differentialgesetzen III_i und IV_i ganz natürlich an. Es müssen folgende Glieder

zu III_i) $\qquad - \gamma_{1i} : \mathfrak{e} ; \mathfrak{e} - \xi_{1i} : \mathfrak{m} ; \mathfrak{m}$

beziehungsweise zu IV_i) $\qquad - \gamma_{2i} : \mathfrak{e} ; \mathfrak{e} - \xi_{2i} : \mathfrak{m} ; \mathfrak{m}$

hinzugefügt werden. Es ist damit eine Abhängigkeit der dyadischen Variablen σ_i und τ_i von den dyadischen Quadraten $\mathfrak{e};\mathfrak{e}$, beziehungsweise $\mathfrak{m};\mathfrak{m}$ der Feldstärken erkannt, welche insbesondere in statischen und homogenen elektrischen oder magnetischen Feldern ganz rein in Erscheinung treten muß.

94. Da die Materialeigenschaften des Mediums von den Variablen σ_i und τ_i abhängen, so ist im allgemeinen eine Beeinflussung aller Materialkoeffizienten durch die Quadrate der Feldstärken zu erwarten, wenn nicht besondere Konstantenbedingungen erfüllt sind, welche diesen Einfluß unterdrücken. So ist zum Beispiel die Annahme einer akzidentiellen magnetischen Leitfähigkeit ξ, welche dem Quadrate der magnetischen Feldstärke proportional ist, unzulässig. Das Auftreten derselben wird ausgeschlossen durch die Konstantenbedingung:

$$\sum_i \left(\xi_{1i}^2 x_i + \xi_{2i}^2 c_i - \xi_{1i} \xi_{2i} (r_i + s_i) \right) = 0.$$

In anderen Fällen ist aber die Abhängigkeit der Materialkoeffizienten des Mediums von dem Quadrate der Feldstärken tatsächlich beobachtet worden. Es ist hier insbesondere die Abhängigkeit des diamagnetischen Koeffizienten μ von dem Quadrate der magnetischen Feldstärke hervorzuheben, welche die Form der Magnetisierungskurve der ferromagnetischen Medien bestimmt. Aus der Magnetisierungsweise der Magnetitkristalle, die von Voigt[1] ausführlich diskutiert wurde, erkennt man, daß die Konstanten ξ_{1i} und ξ_{2i} nicht Skalare, sondern zweifach symmetrische Tetraden sind. Das gleiche ergibt sich aus der Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit der Wismutkristalle von dem Quadrate der magnetischen Feldstärke.

95. Weitaus am wichtigsten ist aber die Abhängigkeit der stofflichen Spannungsdyade θ_1 von den dyadischen Quadraten der Feldstärken, worauf nach meiner Auffassung alle ponderomotorischen Wirkungen im elektromagnetischen Felde beruhen. Dieselben Konstantenbedingungen, zufolge welcher in (143) (144) die Deformationsgeschwindigkeiten $[\nabla \times \mathfrak{v}]$ gerade mit den Faktoren $-\varepsilon$, beziehungsweise $-\mu$ behaftet erscheinen, bewirken, daß die stoffliche Spannungsdyade θ_1 [Gleichung (146)] in folgender Weise von den dyadischen Quadraten der Feldstärken abhängt:

150) $$\theta_1 = -\tfrac{1}{2} [\mathfrak{e} \times (\varepsilon \cdot \mathfrak{e}) + (\varepsilon \cdot \mathfrak{e}) \times \mathfrak{e} + \mathfrak{m} \times (\mu\, \mathfrak{m}) + (\mu \cdot \mathfrak{m}) \times \mathfrak{m}].$$

Hierzu kommt noch der Energiedruck (vgl. § 91)

$$-\tfrac{1}{2} \mathfrak{e} \cdot \varepsilon \cdot \mathfrak{e} - \tfrac{1}{2} \mathfrak{m} \cdot \mu \cdot \mathfrak{m},$$

so daß die gesamte elektromagnetische Spannungsdyade den Wert:

151) $$\theta = -\tfrac{1}{2} [(\varepsilon \cdot \mathfrak{e}) ; \mathfrak{e} + (\varepsilon \cdot \mathfrak{e}) \times \mathfrak{e} + (\mu \cdot \mathfrak{m}) ; \mathfrak{m} + (\mu \cdot \mathfrak{m}) \times \mathfrak{m}]$$

hat. Es ist dies exakt die Maxwell-Hertz'sche Spannungsdyade.

In den Gleitschichten, in welchen die materiellen Fluxionen $d\sigma_i/dt$ und $d\tau_i/dt$ beträchtliche Werte haben, sowie in beträchtlich inhomogenen Feldern, in welchen die stofflich wirksamen Derivationen $\alpha \nabla, \mathfrak{e}$ und $\beta \nabla, \mathfrak{m}$ große Werte haben, beeinflussen dieselben die Werte der Variablen σ_i und τ_i, welche

[1] Voigt. Götting. Nachr. (1900), p. 331

dann nicht mehr ausschließlich von den dyadischen Quadraten der Feldstärken abhängen. In diesen Fällen, in welchen höhere elektromagnetische Erscheinungen (Reibungselektrisierung, höhere optische Erscheinungen) auftreten, hat also auch die Spannungsdyade nicht mehr genau die Maxwell'sche Form und treten daher höhere ponderomotorische Wirkungen im elektromagnetischen Felde auf.

14. Theorie der Elastizität.

96. Nach der klassischen Elastizitätstheorie ist die elastische Spannungsdyade eine Funktion der Deformationsdyade ψ. Diese ist in erster Annäherung der symmetrische Teil der derivierten Dyade

152) $$\varphi = \nabla ; \mathfrak{u}$$

der Verschiebungsverteilung $\mathfrak{u}$, streng genommen[1] aber ist

153) $$\psi = \tfrac{1}{2}(\varphi + \varphi_c - \varphi \cdot \varphi_c).$$

Die Verschiebungen $\mathfrak{u}$ der Punkte des Mediums sind aber rein geometrische Größen und keineswegs reale physikalische Vektoren. Die klassische Elastizitätstheorie hat also denselben Fehler wie die Newton'sche Gravitationstheorie, sie nimmt einen direkten naturgesetzlichen Zusammenhang zwischen physikalischen Wirkungen und geometrischen Abmessungen an. Ein Nahewirkungsgesetz muß aber die Fluxion einer physikalischen Variablen als Funktion der an dem gleichen Orte gegebenen realen physikalischen Variablen und deren räumlichen Derivationen darstellen. Nach meiner Theorie ist nicht die Spannungsdyade θ_1 eine Funktion der Deformationsdyade ψ, sondern der stofflichen Variablen $\bar{\sigma}$ und $\bar{\tau}$, diese sind nicht direkt von der Deformationsdyade ψ abhängig, sondern die Fluxionen $d\sigma/dt$ und $d\tau/dt$ hängen von der Deformationsgeschwindigkeit ab, und zwar ist diese Abhängigkeit in idealen elastischen Medien eine ganz reine und ausschließliche. Für ein solches ideales Medium verschwinden sogar die Dämpfungs- und Schwingungskonstanten c_i x_i r_i s_i und die Differentialgesetze III$_i$ IV$_i$ nehmen die einfache Form an

III$_j$) $$e_j : \frac{d\bar{\sigma}_j}{dt} + \left[[\nabla ; \mathfrak{v}] \cdot \alpha_j'' \right] = 0.$$

Stoffliche Differentialgesetze von dieser speziellen Form wollen wir als Elastizitätsgleichungen bezeichnen. In natürlichen (unvollkommen elastischen) Medien können einige der Differentialgesetze die allgemeine Form III$_i$ IV$_i$ haben, während andere derselben, die wir durch den Index j auszeichnen, die spezielle Form III$_j$ der Elastizitätsgleichung haben.

97. Es handelt sich nun um die Integration dieser Elastizitätsgleichung. Man muß dabei von der Beziehung[2]:

154) $$\frac{d'\varphi}{dt} = (\nabla ; \mathfrak{v}) \cdot (I - \varphi)$$

zwischen der totalen Fluxion der derivierten Dyade φ der Verschiebungen und der derivierten Dyade $\nabla ; \mathfrak{v}$ der Geschwindigkeitsverteilung ausgehen. Ich habe am angeführten Orte noch den nur in erster Annäherung richtigen Wert $\frac{1}{2}(\varphi + \varphi_c)$ für die Deformationsdyade ψ zugrunde gelegt. Damit läßt sich eine exakte Integration der Elastizitätsgleichung III$_j$) nicht erzielen. Es ist vielmehr nach (153)

$$\frac{d'\psi}{dt} = \left[\frac{d'\varphi}{dt} \cdot (I - \varphi_c) \right]$$

[1] Vgl. Enzykl. der math. Wiss., IV., 23, p. 53, oder Love-Timpe, Lehrbuch der Elastizität, Anhang zu Kap. I, oder G. Hamel, Elementare Mechanik, Anhang.

[2] Jaumann, Geschlossenes Gleichungssystem, Wien. Akad., 120 (1911), p. 420.

und man erhält nach 154) den Wert:

155) $$\frac{d'\psi}{dt}=\left[(\nabla;\mathfrak{v})\cdot(I-2\psi)\right]$$

der totalen Fluxion der Deformationsdyade ψ.

Lohr[1] hat gezeigt, daß, wenn man die Variable

156) $$\chi=\varkappa(I-2\psi)$$

worin $\varkappa$ eine arbiträre Konstante ist, einführt, man zu einer integrablen Gleichung für die materielle Fluxion dieser Variablen gelangt. Es folgt zunächst aus (155) für die totale Fluxion derselben:

$$\frac{d'\chi}{dt}=-2\left[(\nabla;\mathfrak{v})\cdot\chi\right].$$

Addiert man nun nach der Rechenregel (140)

$$\frac{1}{2}\chi\times\operatorname{rot}\mathfrak{v}-\frac{1}{2}\operatorname{rot}\mathfrak{v}\times\chi=\frac{1}{2}\chi\cdot(\mathfrak{v};\nabla-\nabla;\mathfrak{v})-\frac{1}{2}(\mathfrak{v};\nabla-\nabla;\mathfrak{v})\cdot\chi,$$

so erhält man eine Differentialgleichung für die materielle Fluxion von χ:

157) $$\frac{d\chi}{dt}=-2\left[[\nabla;\mathfrak{v}]\cdot\chi\right],$$

welche die Form der Elastizitätsgleichung III_j hat.

Lohr hat damit nachgewiesen, daß die Elastizitätsgleichung III_j dann und nur dann exakt integrabel ist, wenn der Materialkoeffizient α_j'' keine Konstante ist, sondern linear von der stofflichen Variablen $\mathfrak{z}_j$ abhängt.

98. Im allgemeinen Falle, für ein kristallisches Medium, ist

158) $$\alpha_j''=a_0:I+2\,e_j:\mathfrak{z}_j$$

Hierin ist a_0 eine in isotropen Medien skalare, in Kristallen tetradische Konstante. Das Differentialgesetz III_j nimmt hierdurch die Form an

$$\frac{d\alpha_j''}{dt}=-2\left[[\nabla;\mathfrak{v}]\cdot\alpha_j''\right]$$

also die Form (157), und das Integral derselben ist nach (156)

159) $$\alpha_j''=a_0:(I-2\psi).$$

Indem wir der arbiträren Konstanten gerade den Wert a_0 gegeben haben, haben wir gesichert, daß $\mathfrak{z}_j$ und ψ gleichzeitig verschwinden, das heißt wir zählen die Deformationen von jenem Zustand des Mediums, in welchem $\mathfrak{z}_i=0$ ist, und in diesem normalen Zustand hat der Materialkoeffizient α_j'' den Wert $a_0:I$. Aus (158) und (159) folgt

160) $$e_j:\mathfrak{z}_j=-a_0:\psi$$

Es ist also die stoffliche Variable $\mathfrak{z}_i$ in isotropen Medien stets der Deformation ψ proportional in Kristallen eine homogene lineare tetradische Funktion derselben.

99. Die elastische Energie pro Volumseinheit hat in idealen Medien den Wert $\frac{1}{2}\mathfrak{z}_j:e_j:\mathfrak{z}_j$, es muß bei der Bildung der Energiegleichung das Differentialgesetz III_j mit $\mathfrak{z}_j$ doppelt multipliziert werden und es folgt dann so wie weiter oben § 90, daß die stoffliche Spannungsdyade den Wert

$$\theta_1=\left[\alpha_j''\cdot|\mathfrak{z}_j|\right]$$

---

[1] E. Lohr, Entropieprinzip und geschlossenes Gleichungssystem, Denkschr. d. Wien. Akad. (1916), p. 406.

hat. Nach (160) und (159) ist, wenn wir der Einfachheit wegen a_0 als isotrop annehmen

161) $\quad \bar{\sigma}_j = -a_0 e^{-1} : \phi$ und $\alpha_j'' = a_0 (I - 2\phi)$ also schließlich

162) $\quad \theta_1 = -a_0^2 [e^{-1} : \phi - 2\phi \cdot e^{-1} : \phi]$.

Die elastischen Spannungen sind hiernach nur von der Deformation abhängig, aber sie sind auch in idealen Medien von der Deformationsdyade ϕ nicht linear abhängig, sondern es kommen noch Spannungen, welche in ϕ vom zweiten Grade sind, hinzu. Das Medium hat nur einen (in Kristallen tetradischen) Elastizitätsmodul vom Werte $a_0^2 e^{-1}$, doch kommen zu diesen echt elastischen Spannungen in allen Medien noch isotrope Drucke, welche nicht von der stofflichen Variablen $\bar{\sigma}_j$, sondern ausschließlich von der Dichte und Temperatur abhängen, und zu welchen noch der Energiedruck (§ 91) kommt.

100. Unvollkommen elastische Kristalle. Um die Theorie der unvollkommenen Elastizität anisotroper Medien einfach darzustellen, betrachten wir einen Kristall, dessen Verhalten nur durch zwei sehr vereinfachte stoffliche Differentialgesetze bestimmt wird, nämlich durch die Elastizitätsgleichung III$_j$) und durch die Zähigkeitsgleichung IV$_j$), welche lautet:

IV$_j$)
$$m_j : \frac{d\bar{\tau}_j}{dt} + x_j \bar{\tau}_j + \left[[\nabla ; \mathfrak{v}] \cdot \beta_j'' \right] = 0.$$

Der Einfachheit wegen setzen wir ferner die Proportionalität der dyadischen Koeffizienten $\beta_j'' = \varkappa \alpha_j''$ voraus, worin $\varkappa$ eine reine Konstante. Es folgt aus III$_j$ und IV$_j$ durch Elimination der Deformationsglieder die Differentialgleichung erster Ordnung

$$m_j : \frac{d\bar{\tau}_j}{dt} + x_j \bar{\tau}_j = \varkappa e_j : \frac{d\bar{\sigma}_j}{dt} = k \frac{d\phi}{dt}$$

Nach (161) ist $e_j : \bar{\sigma}_j = a_0 \phi$ und wir setzen $a_0 \varkappa = k$.
Das Integral dieser Differentialgleichung ist:

$$\bar{\tau}_j = e^{-\frac{x_j}{m_j} t} \left(C + \frac{k}{m_j} \int_0^t \frac{d\phi}{dt} e^{+\frac{x_j}{m_j} t} dt \right)$$

Durch wiederholte partielle Integration ergibt sich

163)
$$\bar{\tau}_j = C e^{-\frac{x_j}{m_j} t} + \frac{k}{x_j} \frac{d\phi}{dt} - \frac{k m_j}{x_j^2} \frac{d^2\phi}{dt^2} + \frac{k m_j^2}{x_j^3} \frac{d^3\phi}{dt^3} - \ldots\ldots$$

worin die höheren Differentialquotienten die Bedeutung

$$\frac{d^2\phi}{dt^2} = \frac{d'}{dt} \frac{d\phi}{dt} \quad , \quad \frac{d^3\phi}{dt^3} = \frac{d'^2}{dt^2} \frac{d\phi}{dt}, \ldots\ldots$$

haben. Die stoffliche Spannungsdyade hat den Wert

$$\theta_1 = \left[\alpha_j'' \cdot [\bar{\sigma}_j] \right] + \left[\beta_j'' \cdot [\bar{\tau}_j] \right]$$

Die durch die stoffliche Variable $\bar{\tau}_j$ bestimmten Spannungen sinken mit dieser rasch auf Null ab, wenn sich die Deformation ϕ nicht ändert, sind aber im allgemeinen Falle der Deformationsgeschwindigkeit $d\phi/dt$ proportional und im geringen Grade auch von den höheren Differentialquotienten der Deformationsdyade ϕ nach der Zeit abhängig. In erster Annäherung ist:

$$\theta_1 = a_0 \left[\left(e_j^{-1} : \phi + \frac{k\varkappa}{x_j} \frac{d\phi}{dt} \right) \cdot \alpha_j'' \right]$$

Der erste Teil der Spannungsdyade, welcher die Deformation ϕ proportional ist, bestimmt die elastischen Spannungen, der zweite Teil, welcher der Deformationsgeschwindigkeit $d\phi/dt$ proportional

ist, bestimmt die Zähigkeitsspannungen. Die Wärmeproduktion zufolge der Zähigkeit des Kristalles hat den exakten Wert $Q = x_j \tau_j : \tau_j$, also in erster Annäherung den Wert

$$Q = \frac{k^2}{x_j} \frac{d\psi}{dt} : \frac{d\psi}{dt}$$

sie ist also wesentlich positiv, und zwar dem Quadrate der Deformationsgeschwindigkeit annähernd proportional. Ferner ist bei unvollkommen elastischen Medien die Überschreitung der Elastizitätsgrenze, das ist die Erscheinung zu beobachten, daß die Spannungsdyade nicht auf den anfänglichen Wert zurückkehrt, wenn die Deformationsdyade nach Durchlaufung eines Kreisprozesses auf den anfänglichen Wert zurückgekehrt ist. Dies kann sich aus einer unvollkommenen Integrabilität der Elastizitätsgleichung III_j erklären, welche nach § 97 immer dann eintritt, wenn der Materialkoeffizient α_j'' nicht in der speziellen in (158) angegebenen Weise von der stofflichen Variablen σ_j abhängt.

IV. Theorie der Wärmeerscheinungen.

15. Das thermische Differentialgesetz.

101. Die Fourier'sche Differentialgleichung lautet:

$$C \frac{dT}{dt} = \operatorname{div} k \nabla T,$$

worin C die spezifische Wärme pro Volumseinheit und k der Wärmeleitungskoeffizient ist. Man erkennt daran, daß dieselbe in bezug auf den Differentialoperator ∇ von zweiter Ordnung ist, daß sie kein ursprüngliches Naturgesetz darstellt. sondern das Eliminationsresultat aus zwei Differentialgesetzen erster Ordnung für die Fluxion der Temperatur und für die Fluxion jener realen physikalischen Variablen, deren Veränderungen und deren Verteilung bei den Wärmeleitungsvorgängen wesentlich mitwirken. Die Wärmeleitung in Metallen ist eine Reaktion der räumlichen Verteilung des Temperaturfeldes auf das elektrische Feld und umgekehrt. Die sämtlichen Wärmeerscheinungen in elektrisch leitungsfähigen Medien, und zwar 1. die thermoelektromotorischen Wirkungen, 2. der Peltier- und Thomsoneffekt, 3. die Joule'sche Stromwärme und 4. die Wärmeleitung werden, wie ich an anderem Orte[1] nachgewiesen habe, durch folgende zwei Differentialgesetze erster Ordnung exakt und vollständig dargestellt;

I) $$\gamma_0 (\mathfrak{e} + f \nabla T) = c_0 \, rot \, \mathfrak{m}$$

V) $$C \frac{dT}{dt} - \gamma_0 \mathfrak{e}^2 = -T \, div \, \gamma_0 f \mathfrak{e}.$$

Hierin ist f eine von der Temperatur nur wenig und nahezu linear abhängende Materialkonstante. Gleichung I) ist das Maxwell'sche Differentialgesetz für gute Leiter, welches vervollständigt ist durch die räumliche Derivation $\gamma_0 f \nabla T$, so daß $f \nabla T$ eine thermoelektromotorische Kraft darstellt. Gleichung V) ist das Differentialgesetz, welches die Fluxion der Temperatur bestimmt und in welchem nur eine räumliche Derivation erster Ordnung des elektrischen Vektors vorkommt, und zwar die skalare Derivation $\operatorname{div} \gamma_0 f \mathfrak{e}$.

102. Die Wärmeleitung in elektrischen Nichtleitern ($\gamma_0 = 0$) ist ein wesentlich anderer Vorgang als die Wärmeleitung in Metallen. Die Fluxion der Temperatur muß in Nichtleitern durch die räumliche Derivation erster Ordnung einer der stofflichen Variablen, zum Beispiel τ_v bestimmt werden und umgekehrt, die Fluxion von τ_v muß durch eine räumliche Derivation erster Ordnung der Temperatur bestimmt werden. Es gibt aber nur die rotorische Derivation $\nabla \times TI$, welche erster

[1] Jaumann, Geschlossenes Gleichungssystem, Wien. Akad., 120 (1911), p. 490.

Ordnung und nicht vektorisch ist. Hieraus folgt, daß jene reale physikalische Variable ϑ, deren Änderungen uns als die thermischen Erscheinungen beobachtbar sind, kein Skalar, sondern im einfachsten Falle eine isotrope Dyade TI ist, im allgemeinen Falle wird ϑ eine allgemeine dyadische Variable sein, deren Skalar die absolute Temperatur T ist: $\vartheta_s = T$. Doch hat die Annahme der Anisotropie der thermischen Dyade ϑ nur formales Interesse, da man keine Wirkungen des rein anisotropen Anteiles $\bar{\vartheta}_a = \vartheta - \frac{1}{3}\vartheta_s I$ derselben beobachten kann. Es ist daher anzunehmen, daß die Abweichungen $\bar{\vartheta}_a$ von der Isotropie keinen Bestand haben, daß also in dem thermischen Differentialgesetz V) ein Dämpfungsglied $H\bar{\vartheta}_a$ auftritt, in welchem die Konstante H einen sehr hohen Wert hat. Ferner muß in diesem Differentialgesetze, welches die Fluxion von ϑ bestimmt, die rotorische räumliche Derivation $\nabla \times \tau_\nu$ der stofflichen Variablen τ_ν vorkommen. Die beiden Differentialgesetze, welche die Reaktion des Temperaturfeldes auf das Feld der stofflichen Variablen τ_ν darstellen, müssen daher die Form haben:

IV$_\nu$) $$m_\nu : \frac{d\tau_\nu}{dt} + x_\nu \bar{\tau}_\nu + \left[[\nabla ; \mathfrak{v}] \cdot \beta_\nu''\right] = - h_\nu \nabla \times \vartheta_s I$$

V) $$C\frac{d\vartheta}{dt} + H\bar{\vartheta}_\alpha - x_\nu\, \bar{\tau}_\nu \cdot \bar{\tau}_\nu + \left[[\nabla ; \mathfrak{v}] \cdot \theta''\right] = \vartheta_s \nabla \times h_\nu \bar{\tau}_\nu .$$

Bei der Bildung der Energiegleichung wird das stoffliche Differentialgesetz IV$_\nu$) mit dem Energiefaktor $\bar{\tau}_\nu :$, das thermische Differentialgesetz V) hingegen mit dem Energiefaktor I: doppelt multipliziert, das heißt der Skalar desselben genommen. Dies ergibt die partielle Energiegleichung:

V$_s$) $$C\frac{dT}{dt} - x_\nu \bar{\tau}_\nu : \bar{\tau}_\nu + [\theta''] : \nabla ; \mathfrak{v} = T \operatorname{div} h_\nu \bar{\tau}_{\nu r},$$

welche wir die Wärmegleichung nennen und stets an Stelle des dyadischen thermischen Differentialgesetzes, dessen Anisotropie ohne aktuelles Interesse ist, verwenden wollen. Der in anisotropen Medien anisotrope Materialkoeffizient $[\theta'']$ liefert einen Beitrag zu der Spannungsdyade θ. Die rotorischen Derivationen der rechten Seite von IV$_\nu$) und V) geben nach der Rechenregel:[1]

$$\alpha : \nabla \times \beta - \beta : \nabla \times \alpha = \operatorname{div} \alpha \dot{\times} \beta$$

die Divergenz eines Energieflusses

$$\mathfrak{S}_2 = \vartheta_s I \dot{\times} h_\nu \bar{\tau}_\nu = h_\nu T \bar{\tau}_{\nu r}$$

an die Energiegleichung ab und dieser ist der Energiefluß der Wärmeleitung oder Wärmestrom. Es tritt während der Wärmeleitung die wesentlich positive Wärmeproduktion $Q_2 = x_\nu \bar{\tau}_\nu : \bar{\tau}_\nu$ auf, welches die Nichtumkehrbarkeit dieses Vorganges bewirkt.

Die Wärmeleitung verläuft hiernach nur mit Annäherung, nämlich nur, wenn m_ν und β_ν'' sehr klein sind, wenn die Fluxion von τ_ν langsam und die Deformationsgeschwindigkeit gering ist, so daß

164) $$x_\nu \bar{\tau}_\nu \doteq - h_\nu \nabla \times \vartheta_s I = - h_\nu I \times \nabla T$$

gesetzt werden kann, nach der Fourier'schen Differentialgleichung. Es ist nämlich dann

$$x_\nu \bar{\tau}_\nu : \bar{\tau}_\nu = 2\frac{h_\nu^2}{x_\nu}(\nabla T)^2 \quad \text{und} \quad h_\nu \bar{\tau}_{\nu r} = 2\frac{h_\nu^2}{x_\nu}\nabla T$$

so daß die Wärmegleichung V_s) die Gestalt annimmt:

$$C\frac{dT}{dt} = \operatorname{div} 2\frac{h_\nu^2}{x_\nu} T \nabla T.$$

---

[1] Vgl. Jaumann, Wien. Akad., 117 (1908), p. 391.

16. Die Entropiegleichung.

103. Die Irreversibilität der physikalischen Vorgänge setzt eine charakteristische Verschiedenheit jedes Zustandes eines Mediums von seinen früheren Zuständen voraus. Es muß sich eine Funktion S der physikalischen Variablen angeben lassen, deren Raumintegral über den ganzen von dem betrachteten physikalischen Vorgange eingenommenen Raum nur wachsen kann, diese Funktion S nennt man die Entropie pro Volumseinheit. Man kann dies durch die Entropiegleichung:[1]

165) $$\frac{\partial S}{\partial t} + \operatorname{div} \mathfrak{S} - J^2 = 0$$

ausdrücken. Hierin bedeutet $\mathfrak{S}$ einen als Funktion der physikalischen Variablen bestimmten Vektor: den Entropiefluß, und J^2 eine wesentlich positive Funktion der physikalischen Variablen: die Entropieproduktion pro Volums- und Zeiteinheit. Damit ein perpetuum mobile erster Art ausgeschlossen ist, muß die Energie von der Geschwindigkeit und von physikalischen Variablen abhängen, die von der Deformationsgeschwindigkeit abhängen.

Damit ein perpetuum mobile zweiter Art ausgeschlossen ist, das heißt damit es unmöglich ist, die Wärme eines Körpers in Bewegungsenergie zu verwandeln, ohne daß eine andere Veränderung zurückbleibt, darf die Entropie S nach Planck und Lohr[2] nicht von der Geschwindigkeit $\mathfrak{v}$ abhängen und muß mit der Temperatur T wachsen, vorausgesetzt, daß die Energie aller Körper cet. par. mit der Temperatur wächst. Hieraus folgt, daß die Entropie von dem elektrischen und magnetischen Vektor unabhängig ist, $\partial S/\partial \mathfrak{e} = 0$ und $\partial S/\partial \mathfrak{m} = 0$, wenn man Bewegungsenergie in elektrische oder magnetische Energie verwandeln und diesen Vorgang umkehren kann, ohne daß dabei andere Veränderungen eintreten, denn sonst könnte man hierdurch ein Sinken des Raumintegrals der Entropie bewirken. Als innere Energie U pro Volumseinheit bezeichnen wir hier die gesamte Energie, soweit sie von der Temperatur abhängt, mit Ausschluß der Bewegungsenergie und der elektromagnetischen Energie. Es muß

166) $$\frac{\partial U}{\partial T} > 0$$

sein und wir halten an der Clausius'schen Beziehung

167) $$\frac{\partial S}{\partial T} = \frac{1}{T} \frac{\partial U}{\partial T}$$

fest, welche sichergestellt ist, wenn die Existenz eines Mediums (ideales Gas) angenommen werden darf, dessen innere Energie U der Dichte ρ exakt proportional ist.

104. Die Entropiegleichung (165) muß deduktiv aus dem geschlossenen System der Differentialgesetze abzuleiten sein. Dies legt der Form dieser Differentialgesetze Bedingungen auf und hierdurch wirkt das Entropieprinzip heuristisch, ebenso wie das Energieprinzip. Gelingt es, aus dem geschlossenen Gleichungssystem eine Gleichung von der Form der Entropiegleichung (165) zu deduzieren und hat die Funktion S die oben geforderten Eigenschaften, so müssen alle thermodynamischen Beziehungen und Gesetze, die man durch irgendwelche Schlüsse aus der Unmöglichkeit eines perpetuum mobile zweiter Art ableiten kann, rein deduktiv aus diesem System von Differentialgesetzen folgen, wenn die betreffenden Erscheinungen überhaupt qualitativ aus diesen Differentialgesetzen folgen. Da die materielle (oder körperliche) Fluxion der Entropie

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \frac{dS}{dt} + S \operatorname{div} \mathfrak{v}$$

---

[1] Jaumann, Geschlossenes Gleichungssystem, Wien. Akad., 120 (1911), p. 524, vgl. auch E. Lohr, Entropieprinzip und geschlossenes Gleichungssystem, Denkschr. d. Wien. Akad. (1916), p. 339.

[2] Lohr, Entropieprinzip und geschlossenes Gleichungssystem. Diese Denkschriften 1916, p. 343.

ist, so enthält die Entropiegleichung (165) zunächst die totale Fluxion

$$\frac{dS}{dt} = \frac{\partial S}{\partial T}\frac{dT}{dt} + \frac{\partial S}{\partial \rho}\frac{d\rho}{dt} + \sum_i \left(\frac{\partial S}{\partial \bar{\sigma}_i} : \frac{d\bar{\sigma}_i}{dt} + \frac{\partial S}{\partial \bar{\tau}_i} : \frac{d\bar{\tau}_i}{dt}\right).$$

Zur Deduktion der Entropiegleichung müssen daher alle Differentialgesetze herangezogen werden welche die Fluxionen jener Variablen bestimmen, von welchen die Entropie S abhängt. Diese Differentialgesetze haben die Fluxionsglieder:

$$C\frac{dT}{dt}\,,\quad \frac{d\rho}{dt}\,,\quad e_i : \frac{d\bar{\sigma}_i}{dt}\,,\ \text{beziehungsweise}\ m_i : \frac{d\bar{\tau}_i}{dt}$$

sie müssen also bei der Bildung der Entropiegleichung mit den Entropiefaktoren:

168) $$\frac{1}{C}\frac{\partial S}{\partial T}\,,\quad \frac{\partial S}{\partial \rho}\,,\quad \frac{\partial S}{\partial \bar{\sigma}_i} : e^{-1} :\,,\ \text{beziehungsweise}\ \frac{\partial S}{\partial \bar{\tau}_i} : m^{-1} :$$

multipliziert und addiert werden. Die so gewonnene skalare Gleichung muß die Differentialform (165) des Entropieprinzips haben.

Die Deformationsglieder

$$\left[[\nabla ; \mathfrak{v}] \cdot \theta''\right]\,,\quad \rho \operatorname{div} \mathfrak{v}\,,\quad \left[[\nabla ; \mathfrak{v}] \cdot \alpha_i''\right]\,,\quad \text{beziehungsweise}\ \left[[\nabla ; \mathfrak{v}] \cdot \beta_i''\right]$$

dieser Differentialgesetze müssen nach Multiplikation mit den Entropiefaktoren (168) sich zu dem Werte $S \operatorname{div} \mathfrak{v}$ zusammenschließen, welcher die totale Fluxion der Entropie, die aus den Fluxionsgliedern der Differentialgesetze gebildet wurde, zu der materiellen Fluxion der Entropie ergänzt, die in der Entropiegleichung (165) auftreten muß.

Nun ist

$$S \operatorname{div} \mathfrak{v} = S : \nabla ; \mathfrak{v} \text{ und zum Beispiel}$$

$$\frac{\partial S}{\partial \bar{\sigma}_i} : e^{-1} : \left[[\nabla ; \mathfrak{v}] \cdot \alpha_i''\right] = \left[\frac{\partial S}{\partial \bar{\sigma}_i} : e^{-1} \cdot \alpha_i''\right] : \nabla ; \mathfrak{v}.$$

Es muß also die Bedingung erfüllt werden:

169) $$S - \rho\frac{\partial S}{\partial \rho} = \frac{\theta''}{T} + \sum_i \left[\frac{\partial S}{\partial \bar{\sigma}_i} : e^{-1} \cdot \alpha_i'' + \frac{\partial S}{\partial \bar{\tau}_i} : m_i \cdot \beta_i''\right].$$

Hierdurch kann, wenn S gegeben ist, der Koeffizient θ'' des Deformationsgliedes der Wärmegleichung V_s) bestimmt werden. Dieser bestimmt einerseits einen Teil der Spannungsdyade θ (§ 102), andrerseits nach V_s) die umkehrbare Wärmeproduktion bei adiabatischen Deformationen. Da α_i'' und β_i'' in anisotropen Flüssigkeiten (flüssigen Kristallen) dyadische Koeffizienten sind, gilt das gleiche von θ'', und daher ergeben sich umkehrbare Wärmeproduktionen bei raschen Deformationen (auch ohne Volumsänderung) dieser Flüssigkeiten, welche der ersten Potenz der Deformationsgeschwindigkeit proportional sind und zu der nicht umkehrbaren Reibungswärme, welche der zweiten Potenz der Deformationsgeschwindigkeit proportional ist, hinzukommen. Damit ist dann die Thermodynamik zäher Flüssigkeiten in größter Allgemeinheit prinzipiell erledigt. Den übrigen räumlichen Derivationen der Differentialgesetze ist die Bedingung auferlegt, daß sie sich nach Multiplikation mit den Entropiefaktoren (168) zu der Divergenz eines Vektors zusammenschließen müssen, welcher dann der Entropiefluß $\mathfrak{S}$ ist. Endlich müssen die Verwandlungsglieder der Differentialgesetze, das sind jene Glieder, welche weder eine Fluxion noch eine räumliche Derivation enthalten, nach Multiplikation mit den Entropiefaktoren zusammengenommen einen wesentlich negativen Wert $-J^2$ ergeben.

17. Thermodynamik unvollkommen elastischer, wärmeleitender Kristalle.

105. Als einfaches Beispiel betrachten wir zunächst das Verhalten der unvollkommen elastischen wärmeleitenden anisotropen Medien. Für diese gelten die oben angegebenen Differentialgesetze:

III$_j$) $$e_j : \frac{d\,\bar{\sigma}_j}{d\,t} + \left[[\nabla ; \mathfrak{v}] \cdot \alpha_j'' \right] = 0$$

IV$_\nu$) $$m_\nu : \frac{d\,\bar{\tau}_\nu}{d\,t} + x_\nu \bar{\tau}_\nu + \left[[\nabla ; \mathfrak{v}] \cdot \beta_\nu'' \right] = - h_\nu \nabla \times T I$$

V$_s$) $$C \frac{d\,T}{d\,t} - x_\nu \bar{\tau}_\nu'' : \bar{\tau}_\nu + [\theta''] : \nabla ; \mathfrak{v} = T \operatorname{div} h_\nu \bar{\tau}_{\nu r}''$$

VI) $$\frac{d\,\rho}{d\,t} + \rho \operatorname{div} \mathfrak{v} = 0.$$

Die sämtlichen Koeffizienten dieses Gleichungssystems sind im allgemeinen Funktionen der Variablen $\bar{\sigma}_j$ $\bar{\tau}_\nu$ T und ρ und es sollen die Bedingungen festgestellt werden, welche das Energieprinzip und das Entropieprinzip diesen Koeffizienten auferlegt. Die innere Energie U und die Entropie S sind Funktionen derselben Variablen. Es muß zunächst

170) $$C = \frac{\partial U}{\partial T} \quad \text{und} \quad \frac{\partial S}{\partial T} = \frac{1}{T} \frac{\partial U}{\partial T} \quad \text{sein.}$$

106. Bei der Bildung der Energiegleichung werden die Gleichungen III$_j$) IV$_\nu$) V$_s$) und VI) beziehungsweise mit den Energiefaktoren:

$$\frac{\partial U}{\partial \bar{\sigma}_j} : e_j^{-1} : \quad , \quad \frac{\partial U}{\partial \bar{\tau}_\nu} : m_\nu^{-1} : \quad , \quad 1 \quad \text{und} \quad \frac{\partial U}{\partial \rho}$$

multipliziert und addiert.

Die Fluxionsglieder derselben ergeben dabei die totale Fluxion der inneren Energie. Die Deformationsglieder müssen den Wert $\theta : \nabla ; \mathfrak{v}$ liefern, welcher den aus der Bewegungsgleichung O) stammenden Energiewert $\mathfrak{v} \cdot \nabla \cdot \theta$ zu der Divergenz des dynamischen Energieflusses ergänzt und außerdem den Wert $U \operatorname{div} \mathfrak{v}$, welcher die totale Fluxion von U zu der materiellen Fluxion ergänzt. Es folgt hieraus der Wert der Spannungsdyade θ:

$$\theta + U = \left[\frac{\partial U}{\partial \bar{\sigma}_j} : e_j^{-1} \cdot \alpha_j'' + \frac{\partial U}{\partial \bar{\tau}_\nu} : m_\nu^{-1} \cdot \beta_\nu'' + \theta'' + \rho \frac{\partial U}{\partial \rho} \right].$$

Die Verwandlungsglieder des Gleichungssystems müssen sich in ihrer energetischen Wirkung aufheben. Hieraus folgt der Wert des Koeffizienten $\bar{\tau}_\nu''$

171) $$\bar{\tau}_\nu'' = \frac{\partial U}{\partial \bar{\tau}_\nu} : m_\nu^{-1}.$$

Die Wärmeproduktion $x_\nu \bar{\tau}_\nu'' : \bar{\tau}_\nu$ ist also im allgemeinen nicht wesentlich positiv. Die rotorischen Derivationen der rechten Seite des Gleichungssystems schließen sich hierbei zu der Divergenz des Energieflusses $T h_\nu \bar{\tau}_{\nu r}''$ der Wärmeleitung zusammen, weil nach (171)

171r) $$\bar{\tau}_{\nu r}'' = \left(\frac{\partial U}{\partial \bar{\tau}_\nu} : m^{-1} \right)_r \quad \text{ist.}$$

107. Bei der Bildung der Entropiegleichung werden die Gleichungen III$_j$) IV$_\nu$) V$_s$) und VI) beziehungsweise mit den Entropiefaktoren:

$$\frac{\partial S}{\partial \bar{\sigma}_j} : e_j^{-1} : \quad , \quad \frac{\partial S}{\partial \bar{\tau}_\nu} : m_\nu^{-1} : \quad , \quad \frac{1}{T} \quad \text{und} \quad \frac{\partial S}{\partial \rho}$$

multipliziert und addiert. Die Fluxionsglieder ergeben hierbei die totale Fluxion der Entropie. Die Deformationsglieder derselben müssen dabei den Wert $S \operatorname{div} \mathfrak{v}$ an die Entropiegleichung abgeben, welcher die totale Fluxion der Entropie zu der materiellen Fluxion ergänzt. Hieraus folgt:

$$S = \left[\frac{\partial S}{\partial \bar{\mathfrak{s}}_j} : e_j^{-1} \cdot \alpha_j'' + \frac{\partial S}{\partial \bar{\tau}_\nu} : m_\nu^{-1} \cdot \beta_\nu'' + \frac{\theta''}{T} + \rho \frac{\partial S}{\partial \rho}\right],$$

aus welcher Beziehung der Wert des Koeffizienten θ'' folgt, wenn S als Funktion der realen Variablen bekannt ist. Die Verwandlungsglieder des Gleichungssystems liefern hierbei den negativen Wert der Entropieproduktion, welche wesentlich positiv sein muß. Dies ergibt die Bedingung:

172) $$\frac{1}{T}\frac{\partial U}{\partial \bar{\tau}_\nu} - \frac{\partial S}{\partial \bar{\tau}_\nu} = k_1 \bar{\tau}_\nu : m_\nu + k_2 \bar{\tau}_{\nu S} I : m_\nu,$$

worin k_1 und k_2 Koeffizienten sind, die stets dasselbe Vorzeichen wie x_ν haben müssen. Die Entropieproduktion hat dann den wesentlich positiven Wert

$$J^2 = x_\nu k_1 \bar{\tau}_\nu : \bar{\tau}_\nu + x_\nu k_2 \bar{\tau}_{\nu S}^2.$$

Die rotorische Derivation der rechten Seite der Wärmegleichung V_s) gibt die Divergenz des Entropieflusses $h_\nu \tau_{\nu r}''$ der Wärmeleitung an die Entropiegleichung ab. Damit der Betrag, welchen die rotorische Derivation der rechten Seite von IV_ν) zu der Entropiegleichung beitragen würde, verschwindet, muß der Entropiefaktor $\frac{dS}{d\bar{\tau}_\nu} : m_\nu^{-1}$ von IV_ν) eine symmetrische Dyade sein, also

173) $$\left(\frac{\partial S}{\partial \bar{\tau}_\nu} : m_\nu^{-1}\right)_r = 0.$$

Denn das Doppelprodukt einer symmetrischen Dyade mit der antisymmetrischen Dyade $\nabla \times TI$ ist Null. Hingegen darf der Energiefaktor $\frac{\partial U}{\partial \bar{\tau}_\nu} : m_\nu^{-1}$ von IV_ν) im allgemeinen (falls Wärmeleitung stattfindet) niemals eine symmetrische Dyade sein, weil sonst nach ($171r$) auch $\bar{\tau}_{\nu r}''$ gleich Null, also kein Wärmestrom vorhanden wäre. Um zu zeigen, daß sehr wohl der Entropiefaktor symmetrisch, der Energiefaktor aber unsymmetrisch sein kann, mögen die einfachsten und wahrscheinlichsten Annahmen über die Abhängigkeit von U und S von der Variablen $\bar{\tau}_\nu$ hier beispielshalber angeführt werden. Die von $\bar{\tau}_\nu$ abhängenden Anteile von U und S mögen folgende spezielle Werte haben:

$$U_\nu = \frac{1}{2} m \bar{\tau}_\nu : \bar{\tau}_\nu \quad \text{und} \quad S_\nu = -\frac{1}{2} n \bar{\tau}_{\nu S}^2$$

m und n mögen positive Koeffizienten sein, welche von der Temperatur unabhängig sein müssen, und es sei $m_\nu = m I^{IV}$ eine isotrope Tetrade. Dann ist:

$$\frac{\partial U_\nu}{\partial \bar{\tau}_\nu} = m \bar{\tau}_\nu \text{ und } \frac{\partial S_\nu}{\partial \bar{\tau}_\nu} = -n \bar{\tau}_{\nu S} I \text{ und daher}$$

$$\frac{1}{T}\frac{\partial U_\nu}{\partial \bar{\tau}_\nu} - \frac{\partial S}{\partial \bar{\tau}_\nu} = \frac{1}{T} m \bar{\tau}_\nu + n \bar{\tau}_{\nu S} I$$

also ist die Bedingung (172) erfüllt. Die Entropieproduktion hat (für $x_\nu > 0$) den wesentlich positiven Wert:

$$J^2 = x_\nu \left(\frac{1}{T} \bar{\tau}_\nu : \bar{\tau}_\nu + \frac{n}{m} \bar{\tau}_{\nu S}^2\right).$$

Hierbei ist die Bedingung (173), daß der Entropiefaktor $\frac{1}{m}\frac{\partial S}{\partial \tau_\nu}$ symmetrisch ist, erfüllt, während der Energiefaktor $\frac{1}{m}\frac{\partial U}{\partial \tau_\nu}$ im allgemeinen ebenso wie $\bar{\tau}_\nu$ zufolge der Antisymmetrie der rotorischen Derivation $\nabla \times TI$, welche nach IV_ν) den Wert von $\bar{\tau}_\nu$ mitbestimmt, unsymmetrisch ist.

18. Thermodynamik der Strahlungs- und Zähigkeitserscheinungen.

108. Es ist sehr leicht, die Elastizitätsgleichung III_j) mit dem Entropieprinzip in Übereinstimmung zu bringen, weil diese Gleichung nur das Fluxionsglied und das Deformationsglied enthält. Zufolge dessen kann die energetische Konstante e_j eine beliebige (tetradische) Funktion der Temperatur und der anderen realen Variablen sein und es kann der von $\bar{\sigma}_j$ abhängende Teil der Energie und Entropie U_j, beziehungsweise S_j als beliebige Funktion der Variablen (unter Wahrung der Clausius'schen Bedingung [170]) angenommen werden, woraus der Wert von θ und θ'' folgt und umgekehrt, falls letztere Werte durch Beobachtung bekannt sind. Viel schwerer ist es, die stofflichen Differentialgesetze III_i) und IV_i), welche wir als optische oder Zähigkeitsgleichungen bezeichnet haben, mit dem Entropieprinzip in Übereinstimmung zu bringen, weil diese Gleichungen sehr mannigfaltige Glieder enthalten. Besondere Schwierigkeit machen die Schwingungsglieder $r_i \bar{\tau}_i$ und $s_i \bar{\sigma}_i$ derselben, welche im allgemeinen umkehrbare Entropieproduktionen bewirken würden, was ausgeschlossen werden muß. Es gelingt dies am einfachsten, wenn die innere Energie U linear von den Variablen σ_{is} und τ_{is} abhängt. Wir rechnen daher die stoffliche Energie

$$E_2 = \sum_i \left(\frac{1}{2} \bar{\sigma}_i : e_i : \bar{\sigma}_i + \frac{1}{2} \bar{\tau}_i : m_i : \bar{\tau}_i \right)$$

nicht zu der inneren Energie, das heißt wir müssen annehmen, daß e_i und m_i nicht von der Temperatur abhängen.

109. Die partiellen Differentialquotienten der inneren Energie U nach den Variablen σ_i und τ müssen reine Temperaturfunktionen sein und sämtlich in derselben Weise von der Temperatur abhängen

$$\frac{\partial U}{\partial \sigma_i} = \mathfrak{k}_i\, \varphi(T) \quad , \quad \frac{\partial U}{\partial \tau_i} = \mathfrak{k}'_i\, \varphi(T)$$

Hierin sind $\mathfrak{k}_i$ und $\mathfrak{k}'_i$ reine skalare Konstante, welche wir als Energiekonstante bezeichnen. Die innere Energie hat also, abgesehen von ihrer Abhängigkeit von der Elastizitätsvariablen σ_j den Wert:

174) $$U = f(\rho, T) + \varphi(T) \sum_i (\mathfrak{k}_i\, \sigma_{is} + \mathfrak{k}'_i\, \tau_{is}).$$

Ferner dürfen die Variablen σ_{is} und τ_{is} ebenso wie die Variable T niemals ihr Vorzeichen wechseln, was hinreichend dadurch gesichert ist, daß die angenommenen Abweichungen $\bar{\sigma}_{is}$ und $\bar{\tau}_{is}$ dieser Variablen von ihren Ruhewerten gegen diese sehr klein bleiben. Denn es muß $\partial U / \partial T > 0$ sein. Es ist:

$$\frac{\partial U}{\partial T} = \frac{\partial f(\rho, T)}{\partial T} + \varphi'(T) \sum_i (\mathfrak{k}_i\, \sigma_{is} + \mathfrak{k}'_i\, \tau_{is}), \text{ daher } \frac{\partial S}{\partial T} = \frac{1}{T}\frac{\partial f(\rho, T)}{\partial T} + \frac{\varphi'(T)}{T} \sum_i (\mathfrak{k}_i\, \sigma_{is} + \mathfrak{k}'_i\, \tau_{is}) \text{ und}$$

175) $$S = F(\rho) + \int \frac{1}{T} \frac{\partial f(\rho, T)}{\partial T}\, d\,T + \psi(T) \sum_i (\mathfrak{k}_i\, \sigma_{is} + \mathfrak{k}'_i\, \tau_{is}),$$

worin $F(\rho)$ eine arbiträre Funktion von ρ ist und

176) $$\psi(T) = \int \frac{\varphi'(T)}{T}\, d\,T.$$

Hieraus folgen die partiellen Differentialquotienten der Entropie

$$\frac{\partial S}{\partial \rho} = F'(\rho) + \int \frac{1}{T} \frac{\partial^2 f(\rho, T)}{\partial T \partial \rho} d\, T.$$

$$\frac{\partial S}{\partial \sigma_{is}} = \mathfrak{k}_i \psi(T) \quad , \quad \frac{\partial S}{\partial \tau_{is}} = \mathfrak{k}'_i \psi(T).$$

110. Bei der Bildung der Energiegleichung müssen also die Differentialgesetze III_i, beziehungsweise IV_i mit den Energiefaktoren

$$\left(\bar{\sigma}_i + \mathfrak{k}_i \varphi(T) I : e_i^{-1}\right):, \text{ beziehungsweise } \left(\bar{\tau}_i + \mathfrak{k}'_i \varphi(T) I : m_i^{-1}\right):$$

oder, wenn e_i und m_i isotrope Dyaden sind, wie wir in folgenden der einfachen Schreibweise wegen annehmen wollen, mit den Energiefaktoren

$$\bar{\sigma}_i : + \frac{\mathfrak{k}_i}{e_i} \varphi(T) I : \text{ , beziehungsweise } \bar{\tau}_i : + \frac{\mathfrak{k}_i}{m_i} \varphi(T) I :$$

multipliziert werden. Die Energiegleichung haben wir w. o. nur mit Rücksicht auf die stoffliche Energie E_2, also unter Verwendung der Energiefaktoren $\bar{\sigma}_i$: und $\bar{\tau}_i$: gebildet. Nun müssen wir die Differentialgesetze III_i und IV_i von neuem heranziehen, den skalaren Wert derselben nehmen und diesen mit den Energiefaktoren $\frac{\mathfrak{k}_i}{e_i} \varphi(T)$ beziehungsweise $\frac{\mathfrak{k}'_i}{m_i} \varphi(T)$ multiplizieren. Die so entstehenden Energiewerte müssen in den übrigen Differentialgesetzen kompensiert, bzw. zu der Divergenz neuer Energieflüsse ergänzt werden. Der Energiefaktor der Kontinuitätsgleichung VI wird um $\partial U / \partial \rho$ vergrößert.

111. Bei der Bildung der Entropiegleichung müssen die Differentialgesetze III_i und IV_i mit den Entropiefaktoren

$$\mathfrak{k}_i \psi(T) I : e_i^{-1}: \quad \text{beziehungsweise } \mathfrak{k}_i \psi(T) I : m_i^{-1}:$$

multipliziert werden, oder (falls e_i und m_i isotrop sind) es muß der skalare Teil dieser Differentialgesetze mit den Entropiefaktoren

$$\frac{\mathfrak{k}_i}{e_i} \psi(T) \text{ , beziehungsweise } \frac{\mathfrak{k}'_i}{m_i} \psi(T)$$

multipliziert und zu den übrigen partiellen Entropiegleichungen des Systems addiert werden.

112. Die Fluxionsglieder des Gleichungssystems ergeben hierbei die totale Fluxion der Energie, beziehungsweise der Entropie. Die Deformationsglieder von III_i, IV_i und VI tragen zu der früher berechneten Spannungsdyade nun mit Rücksicht auf die innere Energie U den Wert:

$$\theta_i = \varphi(T)\left(\frac{\mathfrak{k}_i}{e_i} \alpha''_i + \frac{\mathfrak{k}'_i}{m_i} \beta''_i\right) + \rho \frac{\partial U}{\partial \rho} - U$$

bei. Der Koeffizient θ'' der Wärmegleichung muß durch den Betrag:

$$\theta''_i = - T \psi(T)\left(\frac{\mathfrak{k}_i}{e_i} \alpha''_i + \frac{\mathfrak{k}'_i}{m_i} \beta''_i\right) \text{ ergänzt werden.}$$

113. Die elektromagnetischen Derivationen

von III_i) $\quad \alpha_i \nabla, \mathfrak{e} + \alpha'_i \nabla, \mathfrak{m}$ und $\quad$ von IV_i) $\quad \beta_i \nabla, \mathfrak{e} + \beta'_i \nabla, \mathfrak{m}$

geben nach Multiplikation mit den Faktoren der inneren Energie den Wert:

$$\varphi(T)\left(\left(\frac{\mathfrak{k}_i}{e_i} \bar{\alpha}_i + \frac{\mathfrak{k}'_i}{m_i} \bar{\beta}_i\right) \operatorname{div} \mathfrak{e} + \left(\frac{\mathfrak{k}_i}{e_i} \bar{\alpha}'_i + \frac{\mathfrak{k}'_i}{m_i} \bar{\beta}'_i\right) \operatorname{div} \mathfrak{m}\right),$$

worin $\overline{\alpha}_i = \alpha_{1i} + \alpha_{2i} + 3\alpha_{3i}$ usw. ist, an die Energiegleichung ab. Der energetisch komplementäre Wert, welcher diesen zu der Divergenz eines thermoelektrischen Energieflusses ergänzt, kann von den elektromagnetischen Differentialgesetzen abgegeben werden. Es müssen dann folgende Glieder zu den Differentialgesetzen I und II hinzugefügt werden:

zu I) $$\nabla\left(\varphi(T)\sum_i\left(\frac{\mathfrak{k}_i}{e_i}\overline{\alpha}_i + \frac{\mathfrak{k}'_i}{m_i}\overline{\beta}_i\right)\right)$$

zu II) $$\nabla\left(\varphi(T)\sum_i\left(\frac{\mathfrak{k}_i}{e_i}\overline{\alpha}'_i + \frac{\mathfrak{k}'_i}{m_i}\overline{\beta}'_i\right)\right).$$

Diese Glieder bestimmen also thermoelektromotorische Kraft, welche, gerade wenn die Leitfähigkeit des Mediums gering ist, sehr groß sein können, wenn nicht durch die entsprechenden Konstantenbedingungen dafür gesorgt wird, sie zum Verschwinden zu bringen. An die Entropiegleichung geben diese elektromagnetischen Derivationen den Wert

$$\psi(T)\left(\left(\frac{\mathfrak{k}_i}{e_i}\overline{\alpha}_i + \frac{\mathfrak{k}'_i}{m_i}\overline{\beta}_i\right)\operatorname{div}\mathfrak{e} + \left(\frac{\mathfrak{k}_i}{e_i}\overline{\alpha}'_i + \frac{\mathfrak{k}'_i}{m_i}\overline{\beta}'_i\right)\operatorname{div}\mathfrak{m}\right)$$

ab. Dieser muß gleich der Divergenz eines Entropieflusses sein.

Es ist $e_i = e_{0i}\rho$ und $m_i = m_{0i}\rho$. Da $\mathfrak{k}_i$, $\mathfrak{k}'_i$, e_{0i} und m_{0i} als reine Konstante angenommen wurden, muß

177) $$\overline{\alpha}_i = \frac{a_{0i}\rho}{\psi(T)}\quad,\quad \overline{\beta}_i = \frac{b_{0i}\rho}{\psi(T)}\quad,\quad \overline{\alpha}'_i = \frac{a'_{0i}\rho}{\psi(T)}\quad,\quad \overline{\beta}'_i = \frac{b'_{0i}\rho}{\psi(T)}$$

worin a_{0i} b_{0i} a'_{0i} b'_{0i} reine Konstanten sind. (Vergl. auch § 116.)

114. Die elektromagnetischen Verwandlungsglieder

von III$_i$) $\quad -\gamma_{1i}\mathfrak{e};\mathfrak{e} - \xi_{1i}\mathfrak{m};\mathfrak{m}$ und von IV$_i$) $\quad -\gamma_{2i}\mathfrak{e};\mathfrak{e} - \xi_{2i}\mathfrak{m};\mathfrak{m}$

geben nach Multiplikation mit den Faktoren der inneren Energie nichts an die Energiegleichung ab, wenn die Konstanten γ_i und ξ_i die Bedingungen erfüllen

178) $$\sum_i\left(\frac{\mathfrak{k}_i}{e_i}\gamma_{1i} - \frac{\mathfrak{k}'}{m_i}\gamma_{2i}\right) = 0 \qquad \text{und} \qquad \sum_i\left(\frac{\mathfrak{k}_i}{e_i}\xi_{1i} - \frac{\mathfrak{k}'}{m_i}\xi_{2i}\right) = 0.$$

Dann bewirken diese elektromagnetischen Verwandlungsglieder auch keine Entropieproduktion.

115. Wenn rotorisch-dyadische Derivationen auf der rechten Seite der Differentialgesetze stehen, welche im allgemeinen die Form

$$n\nabla\times[\varphi]$$

haben, worin φ eine lineare dyadische Funktion der realen Variablen ist, so verschwinden dieselben bei der Bildung der partiellen Energiegleichungen der inneren Energie und der Entropiegleichung wenn $[\varphi]$ eine symmetrische Dyade ist.

116. Die Schwingungsglieder und Dämpfungsglieder

von III$_i$) $\quad + c_i\overline{\sigma}_i + r_i\overline{\tau}_i$ und von IV$_i$) $\quad + s_i\overline{\sigma}_i + x_i\overline{\tau}_i$

geben nach Multiplikation mit den Entropiefaktoren den Wert

$$\psi(T)\sum_i\left(\left(\frac{\mathfrak{k}_i}{c_i}c_i + \frac{\mathfrak{k}'_i}{m_i}s_i\right)\overline{\sigma}_{is} + \left(\frac{\mathfrak{k}_i}{e_i}r_i + \frac{\mathfrak{k}'_i}{m_i}x_i\right)\overline{\tau}_{is}\right)$$

an die Entropiegleichung ab. Wenn die Entropiekonstanten $\mathfrak{k}_i$ und $\mathfrak{k}'_i$ die Beziehungen erfüllen:

179) $$\rho\left(\mathfrak{k}_i\frac{c_i}{e_i} + \mathfrak{k}'_i\frac{s_i}{m_i}\right) = \overline{\alpha}_i \qquad \text{und} \qquad \rho\left(\mathfrak{k}_i\frac{r_i}{c_i} + \mathfrak{k}_i\frac{x_i}{m_i}\right) = \overline{\beta}_i\,,$$

so hat die umkehrbare Entropieproduktion zufolge der stofflichen Eigenschwingungen den Wert

180)
$$\frac{1}{\rho}\,\psi(T)\sum_i(\bar{\alpha}_i\,\bar{\sigma}_{is}+\bar{\beta}_i\,\bar{\tau}_{is})=\sum_i(a_{0i}\,\bar{\sigma}_{is}+b_{0i}\,\bar{\tau}_{is}).$$

Nun ist bei rein optischen Vorgängen (Wärmestrahlung) nach § 76 $\sum_i(\alpha_i\,\bar{\sigma}_i+\beta_i\,\bar{\tau}_i)$ eine rein antisymmetrische Dyade, also $\sum_i(\bar{\alpha}_i\,\bar{\sigma}_{is}+\bar{\beta}_i\,\bar{\tau}_{is})=0$. Wenn es sich nur um transversale Strahlungen handelt, so verschwindet die umkehrbare Entropieproduktion (180) ohne weiteres zufolge der Konstantenbedingung (179), wodurch schon sehr viel gewonnen ist. Es müssen aber dann die Schwingungs- und Dämpfungskonstanten r_i s_i c_i und x_i nach (179) ebenso wie die Konstanten $\bar{\alpha}_i$ und $\bar{\beta}_i$ nach (177) der Temperaturfunktion $\psi(T)$ verkehrt proportional sein. Es muß

181)
$$c_i=\frac{c_{0i}\,\rho}{\psi(T)}\,,\quad x_i=\frac{x_{0i}\,\rho}{\psi(T)}\,,\quad r_i=\frac{r_{0i}\,\rho}{\psi(T)}\,,\quad s_i=\frac{s_{0i}\,\rho}{\psi(T)}$$

sein, worin c_{0i} x_{0i} r_{0i} und s_{0i} reine Konstante sind. Daß alle Koeffizienten der Differentialgesetze III_i) und IV_i) der Dichte ρ proportional sind, folgt daraus, daß das Spektrum eines Gases sich bei der Verdünnung nicht ändert, die Emission und Absorption aber der Dichte proportional abnimmt.

117. Bei allgemeineren Vorgängen, als transversalen elektromagnetischen Strahlungen, muß jedoch die umkehrbare Entropieproduktion (180) in der Wärmegleichung V_s) kompensiert werden, welcher folgendes Glied zugefügt werden muß:

zu V_s)
$$-\,T\sum_i(a_{0i}\,\bar{\sigma}_{is}+b_{0i}\,\bar{\tau}_{is})$$

Dasselbe bestimmt eine umkehrbare Wärmeproduktion, aber gerade durch diese wird das Entropieprinzip erfüllt. Es bleibt jedoch jetzt eine noch nicht kompensierte Energieproduktion im Werte

182)
$$-\sum_i(A_i\,\bar{\sigma}_{is}+B_i\,\bar{\tau}_{is})\qquad\text{worin}\qquad A_i=\left(T-\frac{\varphi(T)}{\psi(T)}\right)a_{0i}\quad\text{und}\quad B_i=\left(T-\frac{\varphi(T)}{\psi(T)}\right)b_{0i}$$

übrig. Diese wollen wir der Einfachheit wegen in einem anentropischen Differentialgesetz V_s^*) kompensieren, das heißt in einem Differentialgesetz für die Fluxion einer Variablen T^*, von welcher die Entropie nicht abhängt. Dieses Differentialgesetz V^* muß eine ähnliche Form haben wie die Wärmegleichung V_s, es darf nämlich wie diese kein Dämpfungsglied enthalten, da dieses abermals energetisch unkompensiert wäre. Ein übermäßiges Ansteigen oder Absinken von T^* an einem Orte kann daher nur durch die Divergenz eines neuen Energieflusses verhindert werden. Dieses Differentialgesetz lautet daher:

V_s^*)
$$C^*\,\frac{d\,T^*}{d\,t}+\sum_i(A_i\,\bar{\sigma}_{is}+B_i\,\bar{\tau}_{is})=F(T)\,\mathrm{div}\,k\,\nabla\,T^*.$$

Dasselbe wird weiter unten § 121 genauer ausgestaltet werden.

19. Theorie der Wärmestrahlung und der Lichtemission.

118. Zufällig gleichzeitig als W. Wien seine Untersuchungen über den Einfluß der Temperatur auf die Strahlung der absolut schwarzen Körper veröffentlichte, habe ich eine Auffassung von dem Wesen der Temperaturemission mitgeteilt[1], welche geeignet ist, gerade die Lücke auszufüllen, welche die Wien'schen prinzipiellen Untersuchungen den speziellen Theorien überlasssen, nämlich die

[1] Jaumann, Zur Kenntnis des Ablaufes der Lichtemission, Wien. Akad., 103 (1894), p. 317.

spektrale Zusammensetzung der Strahlung der nahezu schwarzen Körper für eine konstante Temperatur zu bestimmen. Die Amplitude da der nahezu monochromatischen Wellen, deren Schwingungszahlen zwischen p und $p+dp$ liegen, ist in jedem kontinuierlichen Spektrum eine Funktion der Schwingungszahl p und dem Spektralbereiche dp proportional $da = f(p)\,dp$. Diese Teilschwingung stellt sich in einem bestimmten Orte des durchstrahlten Raumes durch $da \sin pt = f(p)\,dp \sin pt$ dar. Sind alle monochromatischen Bestandteile des Spektrums in dieser Weise darstellbar, also kohaerent und zur Zeit $t=0$ sämtlich gleichphasig, so setzen sich dieselben zu einer resultierenden Veränderung der Lichtvariablen zusammen, welche gegeben ist durch

$$183) \qquad \varphi(t) = \int_0^\infty f(p) \sin pt\, dp.$$

Enthält das Spektrum nur eine einzige stark verbreiterte Linie, wird also diese gesamte weiße Strahlung durch eine einzige stoffliche Eigenschwingung von der Schwingungszahl p_0, der großen Dämpfung $\varkappa$ und der Anfangsamplitude A ausgesendet, so muß

$$184) \qquad \varphi(t) = A e^{-\varkappa t} \sin p_0 t$$

sein.[1] Nach dem Fourier'schen Theorem ist

$$185) \qquad \varphi(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \sin tp\, dp \int_0^\infty \varphi(t) \sin pt\, dt.$$

Es gilt dies für positive Werte von t (und auch für $t=0$) für jede beliebige Funktion $\varphi(t)$, doch muß $\int_0^\infty \varphi(t)\, dt$ endlich sein. Es ergibt sich aus (183) und (185)

$$186) \qquad f(p) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \varphi(t) \sin pt\, dt$$

und nach Einführung der Annahme (184) über das Wesen der Strahlung und Integration folgt

$$187) \qquad f(p) = \frac{4}{\pi} A \varkappa p_0 \frac{p}{(\varkappa^2 + p_0^2 + p^2)^2 - 4 p_0^2 p^2}.$$

Damit ist die Amplitudenverteilung in diesem weißen Lichtstrahl bestimmt. Für $p=0$ sowohl als für $p=\infty$ ist $f(p)=0$ und hat für eine Schwingungszahl $p_{\max}$ ein Maximum, und zwar bestimmt sich diese durch:

$$p_{\max}^4 - \frac{2}{3}(p_0^2 - \varkappa^2)\, p_{\max}^2 - \frac{1}{3}(p_0^2 - \varkappa^2)^2 = 0.$$

119. Zerlegt man diesen weißen Lichtstrahl durch ein Beugungsgitter in ein Spektrum, so muß angenommen werden, daß die Amplituden der monochromatischen Schwingungen in dem Spektrum in demselben Verhältnisse zueinander stehen, in welchem die Amplituden jener monochromatischen Wellen stehen, als deren Superposition man die abklingende Welle von der Schwingungszahl p_0 des weißen Lichtstrahles nach (184) darstellen kann. Da die Amplituden dieser monochromatischen Bestandteile des weißen Lichtes durch $f(p)\,dp$ dargestellt werden, ist die auf die Längeneinheit des Spektrums entfallende Amplitude der Lichtschwingung durch $f(p) \nabla p$ gegeben, worin ∇p der Gradient der Verteilung der Schwingungszahlen p im Beugungsspektrum ist. Unter Amplitude der Lichtschwingung verstehen wir die Wurzel aus der Intensität des Lichtes. Die bolometrische Wärmewirkung für die Einheit der Breite des Bolometerstreifens ist also durch

$$188) \qquad f^2(p)(\nabla p)^2 = \frac{16\pi^2 c_0^2}{\lambda^4} f^2(p)(\nabla \lambda)^2 \quad \text{worin } p = 4\pi c_0/\lambda$$

gegeben. Hierin ist c_0 die Lichtgeschwindigkeit und λ die Wellenlänge im Vacuum.

---

[1] Lommel, Wied. Ann. 3 (1877), p. 251, hat schon viel früher die Verbreiterung der Spektrallinien des Fluoreszenzlichtes durch das Abklingen desselben erklärt.

Nun ist das Beugungsspektrum proportional den *Wellenlängen* dispergiert, so daß in demselben der Gradient $\nabla\lambda$ der Wellenlängenverteilung einen *konstanten* Wert hat. Die Intensitätsverteilung im Spektrum hat daher (abgesehen von einem *konstanten* Faktor) die Verteilung

$$\frac{16\pi^2 c_0^2}{\lambda^4} f^2(p) = \frac{p^4}{16\pi^2 c_0^2} f^2(p)$$

und wir erhalten für das *Emissionsvermögen* e_0 eines Körpers, der zufolge einer einzigen gedämpften Eigenschwingung strahlt, nach (187) das Gesetz

189) $$e_0 = K\varkappa^2 p_0^2 \frac{p^6}{[(\varkappa^2 + p_0^2 + p^2)^2 - 4 p_0^2 p^2]^2}.$$

Hierin ist K eine Temperaturfunktion, welche desto größer ist, je größer das Quadrat der Amplitude A der gedämpften Schwingung der weißen Welle [Gleichung (184)] ist, welche der Körper aussendet, und je mehr solche abklingende Wellen von demselben pro Sekunde ausgesendet werden. Es ist also bis auf einen *universellen* Faktor

190) $$K = A^2 n,$$

worin n die *Exzitationszahl* genannt werden soll, welche angibt, wieviel abklingende Wellengruppen sich auf einer Strecke von c_0^{cm} Länge folgen, also pro sec. durch einen Querschnitt hindurchtreten.

120. Die Voraussetzungen, auf Grund deren die Gesetze der Wärmestrahlung von *Kirchhoff*, *Boltzmann* und *Wien* abgeleitet wurden, sind keine anderen als das *Energieprinzip*, *Entropieprinzip* und die Voraussetzung der *Existenz der Temperaturstrahlung*, das heißt die merkwürdige Tatsache, daß ein Körper allein deshalb strahlt, *weil er eine Temperatur hat*, gleichgültig welche Temperatur das umgebende Medium hat, woraus das perpetuum mobile des Strahlungsgleichgewichtes bei der Hohlraumstrahlung folgt. Die Molekulartheorien nehmen das perpetuum mobile allerdings schon bei der *Temperaturbewegung* der Moleküle an. Viel schwerer ist es vom Standpunkt meiner Theorie, welche die *Kontinuität der Materie* voraussetzt, die *Temperaturstrahlung* zu erklären, es gelingt dies aber, wie im folgenden gezeigt werden soll, in exakter Weise. Es muß nur angenommen werden, daß die *Dämpfungskonstanten* c_i^* und x_i^* in einem Paare III_i^* IV_i^* der Differentialgesetze III_i IV_i *negativ* sind. Dieses Gleichungspaar III_i^* IV_i^* bestimmt eine *Eigenschwingung* der Variblen $\mathfrak{s}_i^*$ und $\mathfrak{t}_i^*$, deren Schwingungszahl nach § 3 durch

$$p_{0i}^{*2} = -\frac{r_i^* s_i^*}{e_i^* m_i^*} - \frac{1}{4}\left(\frac{x_i^*}{m_i^*} - \frac{c_i^*}{e_i^*}\right)^2$$

bestimmt ist, und gegen die Schwingungszahlen p_{0i} der Lichtschwingungen *sehr* klein sein möge. Die Dämpfung dieser tiefen Eigenschwingung des Mediums ist

$$\varkappa_i^* = \frac{1}{2}\left(\frac{x_i^*}{m_i^*} + \frac{c_i^*}{e_i^*}\right)$$

also *negativ*. Da nun anfänglich jedenfalls zufällige, wenn auch äußerst kleine Abweichungen $\mathfrak{s}_i^*$ beziehungsweise $\mathfrak{t}_i^*$ dieser stofflichen Variablen von ihren Ruhewerten vorhanden sind, so werden diese Eigenschwingungen auftreten, wenn auch anfänglich mit ungemein kleiner Amplitude. Zufolge der *negativen Dämpfung* dieser Schwingungen wächst jedoch ihre Amplitude fortwährend und erreicht bald hohe Werte. Die *mittlere* Energie dieser Schwingungen ist ausschließlich durch die (quadratische) stoffliche Energie

$$E_{2i}^* = \frac{1}{2}(\mathfrak{s}_i^* : e_i^* : \mathfrak{s}_i^* + \mathfrak{t}_i^* : m_i^* : \mathfrak{t}_i^*)$$

bestimmt, da die innere Energie U derselben eine lineare Funktion der Schwingungsvariablen ist. Dem Anwachsen der *positiven* stofflichen Energie E_{2i}^* entspricht eine fortschreitende *Abkühlung* des

Mediums. Deckt man durch Wärmezufuhr diesen Verlust, so daß sich eine stationäre Temperatur des Mediums einstellt, so würde die Amplitude dieser negativ gedämpften Eigenschwingung ins Unendliche anwachsen, wenn nicht, wie sogleich gezeigt werden soll, die Wärmestrahlung oder Lichtemission eintreten müßte, welche mit dem Quadrat der Amplitude dieser Eigenschwingung an Intensität gewinnt und, sobald sie die der Wärmezufuhr entsprechende Energie entführt, eine stationäre Amplitude der Eigenschwingung herbeiführt.

121. Der wesentlich negative Energiebetrag

191) $$\sum_i (c_i^* \bar{\sigma}_i^* : \bar{\sigma}_i^* + x_i^* \bar{\tau}_i^* : \bar{\tau}_i^*) \quad \text{worin } r_i^* + s_i^* = 0, c_i^* < 0, x_i^* < 0,$$

welcher die Energiekonsumption pro Volums- und Zeiteinheit der negativ gedämpften Eigenschwingungen darstellt, darf nicht wie die positive Energieproduktion der positiv gedämpften Eigenschwingungen in der Wärmegleichung V_s) kompensiert werden, da dies eine negative Entropieproduktion ergeben würde, was ausgeschlossen werden muß. Diese Energiekonsumption muß vielmehr in dem anentropischen Differentialgesetze V_s^*), § 117, kompensiert werden, welches durch den negativ genommenen Wert (191) ergänzt werden muß. Damit ist zwar die ganze Energieverwandlung angegeben, es verwandelt sich die Energie $C^* T^*$ in die Energie E_2^* der negativ gedämpften Eigenschwingungen. Dies kann aber nicht der ganze Energieumsatz sein, denn dann würde sich der strahlende Körper überhaupt nicht abkühlen. Es muß daher noch für einen Umsatz der Energie $C^* T^*$ in Wärmeenergie CT durch einen neuen Energiefluß gesorgt werden. Wir müssen ferner dafür sorgen, daß diese neuen Energieflüsse nur durch räumliche Derivationen erster Ordnung bewirkt werden, zu welchem Zweck wir wieder die dyadische Form dieser Differentialgesetze heranziehen müssen. Die skalare Variable T^* ist der Skalar einer dyadischen Variablen ϑ^*

$$T^* = \vartheta_s^* .$$

Ferner beteiligt sich an diesen Prozessen noch eine stoffliche Variable τ_ν^*, da das Differentialgesetz V_s^*, welches von zweiter Ordnung ist, in zwei Differentialgesetze V^* und IV_ν^*, welche von erster Ordnung sind, zerfallen muß. Die Differentialgesetze für die Fluxionen der Variablen ϑ^*, τ_ν^*, ϑ und τ_ν lauten:

V*) $$C^* \frac{d\vartheta^*}{dt} + H^* \bar{\vartheta}_a^* - x_\nu^* \bar{\tau}_\nu^* - \sum_i (c_i^* \bar{\sigma}_i^* \cdot \bar{\sigma}_{ic}^* + x_i^* \bar{\tau}_i^* \cdot \bar{\tau}_{ic}^*) + \sum_i (A_i \bar{\sigma}_i + B_i \bar{\tau}_i) = -T \nabla \times h_\nu^* \bar{\tau}_\nu^*$$

IV$_\nu^*$) $$m_\nu^* \frac{d\tau_\nu^*}{dt} + x_\nu^* \bar{\tau}_\nu^* = k_\nu^* \nabla \times T^*$$

V) $$C \frac{d\vartheta}{dt} + H \bar{\vartheta}_a - x_\nu \bar{\tau}_\nu \cdot \bar{\tau}_{\nu c} - \sum_i (c_i \bar{\sigma}_i \cdot \bar{\sigma}_{ic} + x_i \bar{\tau}_i \cdot \bar{\tau}_{ic} + (r_i + s_i) \bar{\sigma}_i \cdot \bar{\tau}_{ic}) - T \sum_i (a_{0i} \bar{\sigma}_i + b_{0i} \bar{\tau}_i) = T \nabla \times (h_\nu \bar{\tau}_\nu + h_\nu^* \bar{\tau}_\nu^*)$$

IV$_\nu$) $$m_\nu \frac{d\tau_\nu}{dt} + x_\nu \bar{\tau}_\nu = -h_\nu \nabla \times T.$$

Hierin sind $\bar{\vartheta}_a^* = \vartheta^* - \frac{1}{3} T^*$, beziehungsweise $\bar{\vartheta}_a = \vartheta - \frac{1}{3} T$ die rein anisotropen (das heißt skalarfreien) Teile der Dyaden ϑ^*, beziehungsweise ϑ. Ferner sind h_ν h_ν^* und k_ν^*, H und H^*, C und C^*, m_ν x_ν m_ν^* und x_ν^* positive Materialkoeffizienten.

Der Energiefaktor der Gleichungen V^*, IV_ν^* und V ist I:, jener von IV_ν ist $\bar{\tau}_\nu$:. Die rotorisch-dyadischen Derivationen dieser Gleichungen bestimmen daher zusammengenommen nur den Energiefluß:

192) $$\mathfrak{S}^\nu = -h_\nu T \bar{\tau}_{\nu r}.$$

Es ist dies der Energiefluß der Wärmeleitung. Die energetischen Wirkungen der Divergenz des Vektors $h_\nu^* \bar{\tau}_{\nu r}^*$, welcher ein Entropiefluß ist, kompensieren sich.

Der Entropiefaktor der Gleichungen V^*, IV_ν^* und IV_ν ist gleich Null angenommen, jener des thermischen Differentialgesetzes V ist gleich $\frac{1}{T}I$: . Die rotorisch-dyadischen Derivationen der rechten Seiten dieser Gleichungen bestimmen daher den Entropiefluß:

193) $$\mathfrak{S}_\nu = -h_\nu \bar{\tau}_{\nu r} - h_\nu^* \bar{\tau}_{\nu r}^*.$$

122. Die Werte dieser Rotoren $\bar{\tau}_{\nu r}$ und $\bar{\tau}_{\nu r}^*$ erhält man durch Integration des antisymmetrischen Teiles der Gleichungen IV_ν, beziehungsweise IV_ν^*. Es ist

$IV_{\nu r}$) $$m_\nu \frac{d\bar{\tau}_{\nu r}}{dt} + x_\nu \bar{\tau}_{\nu r} = 2 h_\nu \nabla T \qquad \text{und daher} \qquad \bar{\tau}_{\nu r} = e^{-\frac{x_\nu t}{m_\nu}} \left(\mathfrak{c} + \frac{2 h_\nu}{m_\nu} \int_0^t \nabla T e^{\frac{x_\nu t}{m_\nu}} dt\right)$$

woraus, so wie weiter oben § 100 durch fortgesetzte partielle Integration die Reihenentwicklung:

$$\bar{\tau}_{\nu r} = \mathfrak{c}\, e^{-\frac{x_\nu}{m_\nu} t} + \frac{2 h_\nu}{x_\nu} \nabla T - \frac{2 h_\nu m_\nu}{x_\nu^2} \frac{d}{dt} \nabla T + \frac{2 h_\nu m_\nu^2}{x_\nu^3} \frac{d^2}{dt^2} \nabla T - \dots$$

folgt. Hierin ist $\mathfrak{c}$ eine vektorische Integrationskonstante.

Falls der betrachtete Prozeß schon längere Zeit angedauert hat, ist $[\tau_\nu]$ und $[\tau_\nu^*]$ gleich Null und

194) $$\bar{\tau}_{\nu r} \doteq \frac{2 h_\nu}{x_\nu} \nabla T \text{ und ebenso } \bar{\tau}_{\nu r}^* \doteq -\frac{2 k_\nu^*}{x_\nu^*} \nabla T^*$$

vorausgesetzt, daß der Prozeß quasistationär verläuft, also die Fluxionen von τ_ν und τ_ν^* klein sind. Der Rotor $\bar{\tau}_{\nu r}$ bestimmt den Energiefluß und den Entropiefluß der Wärmeleitung, der Rotor $\bar{\tau}_{\nu r}^*$ bestimmt jedoch keinen Energiefluß, aber einen neuen Entropiefluß. Der skalare Teil von V^* hat, nachdem erst die Dyade τ_ν^* durch Absinken des eventuell anfänglich gegebenen symmetrischen Teiles $[\tau_\nu^*]$ derselben nach der Gleichung:

IV_ν^*] $$m_\nu \frac{d[\tau_\nu^*]}{dt} + x_\nu [\tau_\nu^*] = 0$$

rein antisymmetrisch geworden ist, so daß $\tau_\nu^* \doteq -I \times \frac{1}{2} \bar{\tau}_{\nu r}^*$ die Form

V_s^*) $$C^* \frac{dT^*}{dt} - \sum_i (c_i^* \sigma_i^* : \sigma_i^* + x_i^* \tau_i^* : \tau_i^*) + \sum_i (A_i \sigma_{is} + B_i \tau_{is}) = -T \operatorname{div} h_\nu^* \bar{\tau}_{\nu r}^* \doteq +T \operatorname{div} \frac{2 h_\nu^* k_\nu^*}{m_\nu^*} \nabla T^*.$$

Wenn also der Leitungskoeffizient $\frac{2 h k_\nu^*}{m_\nu^*}$ beträchtlichen Wert hat, so wird jede Ungleichförmigkeit der räumlichen Verteilung von T^* sich wärmeleitungsartig oder diffusionsartig, nur vielleicht viel rascher, ausgleichen. Die Energiekonsumption (191) zufolge der negativ gedämpften stofflichen Eigenschwingung $\sigma_i^* \tau_i^*$ kann also niemals ein allzu starkes Absinken des Zustandes T^* bewirken. Würde ein solches stattfinden, so hätte man dasselbe bemerken müssen und würde die Abhängigkeit der Materialkoeffizienten von dem Zustande T^* und damit diesen selbst längst kennen.

123. Die Wärmegleichung lautet

V_s) $$C \frac{dT}{dt} - x_\nu \tau_\nu : \tau_\nu - \sum_i (c_i \sigma_i : \sigma_i + x_i \tau_i : \tau_i + (r_i + s_i) \sigma_i : \tau_i) -$$
$$- T \sum_i (a_{0i} \sigma_{is} + b_{0i} \tau_{is}) = T \operatorname{div} (h_\nu \bar{\tau}_{\nu r} + h_\nu^* \bar{\tau}_{\nu r}^*) \doteq T \operatorname{div} \left(\frac{2 h_\nu^2}{m_\nu} \nabla T - \frac{2 h_\nu^* k_\nu^*}{m_\nu^*} \nabla T^*\right).$$

Jenes Raumgebiet, in welchem eine negativ gedämpfte Eigenschwingung $\sigma_i^* \tau_i^*$ stattfindet, erfährt zunächst eine Herabsetzung der stofflichen Energie $C^* T^*$ durch direkte Energieverwandlung, doch geht dieses Sinken von T^* nach obigem nicht zu weit. Jedenfalls aber ist der Gradient ∇T^* überall

von diesem Raumgebiete nach auswärts gerichtet und ist die Divergenz des Vektors $-\frac{2 h_\nu^* k_\nu^*}{m_\nu^*} \nabla T^*$ negativ. Hieraus ergibt sich nach der Wärmegleichung V_s) ein fortwährendes Sinken der Temperatur T dieses Raumgebietes, welchem erst durch die eintretende Wärmeleitung ein Ende gesetzt werden kann. Der Wärmeleitungskoeffizient hat nach V_s) den Wert $\frac{2 h_\nu^2 T}{m_\nu}$.

Hiermit ist die Abkühlung eines strahlenden Körpers unter Wahrung der Energiegleichung und der Differentialform des Entropieprinzips erklärt.

Das Absinken der Entropie eines strahlenden Körpers wurde schon von Clausius erkannt. Lohr[1] hat darauf hingewiesen, daß vom Standpunkt der Jaumann'schen Differentialform (165) des Entropieprinzips dieses Absinken der Entropie niemals durch eine negative Entropieproduktion, sondern nur durch eine positive Divergenz eines Entropieflusses erklärt werden darf, da keine partielle Entropieproduktion negativ sein darf, damit es sicher ist, daß die gesamte Entropieproduktion J^2 [Gleichung (165)] positiv ist. Über das Wesen dieses neuen Entropieflusses der Strahlung gibt aber Lohr keine verwertbaren Vermutungen.

124. Dieser Entropiefluß der Strahlung ist der Entropiefluß

195) $$\mathfrak{S}_\nu^* = -h_\nu^* \bar{\tau}_{\nu r}^* \doteq + \frac{2 h_\nu^* k_\nu^*}{m_\nu^*} \nabla T^*.$$

[siehe Gleichung (193) und (194)]. Derselbe ist von jedem Körper, der eine negativ gedämpfte Eigenschwingung enthält, in welchem also der Zustand T^* niedriger ist als in der Umgebung, nach auswärts gerichtet und bewirkt das Sinken der Entropie dieses Köpers. Bei quasistationären Vorgängen folgt aus V_s^* und (195) für den mittleren Entropieverlust pro Volums- und Zeiteinheit der Wert:

196) $$\operatorname{div} \mathfrak{S}_\nu^* \doteq \frac{1}{T} \sum_i (c_i^* \bar{\sigma}_i^* : \bar{\sigma}_i^* + x_i^* \bar{\tau}_i^* : \bar{\tau}_i^*).$$

Der Entropieverlust zufolge der Divergenz des Entropieflusses $\mathfrak{S}_\nu^*$ ist also nahezu gleich der Energiekonsumption (191) durch die negativ gedämpfte Eigenschwingung, dividiert durch die absolute Temperatur. Dieses Resultat ist nahezu dasselbe, als wenn man diese negative Energieproduktion direkt in dem Verwandlungsglied der Wärmegleichung V_s) kompensiert hätte, was aber der Differentialform des Entropieprinzips widersprechen würde.

125. Die stofflichen Differentialgesetze III_i^* IV_i^* für die Fluxion der Variablen σ_i^* τ_i^*, welche negativ gedämpfte Eigenschwingungen ausführen, dürfen nicht direkt an die elektromagnetischen Differentialgesetze I und II gekoppelt sein. In diesem Falle wäre die Absorption von Lichtwellen, deren Schwingungszahl p in der Nähe der Eigenschwingungszahl p_{0i}^* der negativ gedämpften Eigenschwingung liegen, negativ, das heißt, diese Strahlen würden sich bei dem Fortschreiten in dem Medium fortwährend verstärken und mit größerer Intensität aus demselben austreten, als sie beim Eintritt hatten, was niemals beobachtet wurde. Die Differentialgesetze III_i^* IV_i^* dürfen also keine elektromagnetischen Glieder enthalten und sie müssen durch Verwandlungsglieder an die Differentialgesetze III_i IV_i gekoppelt sein, welche die Fluxionen der Variablen $\sigma_i \tau_i$ bestimmen, die positiv gedämpfte Eigenschwingungen ausführen. Diese sind an die elektromagnetischen Differentialgesetze (siehe § 129) gekoppelt und bestimmen die Absorption des Lichtes. Die Verwandlungs-(Schwingungs- und Dämpfungs-)glieder von III_i IV_i III_i^* und IV_i^* müssen also folgendermaßen vervollständigt werden:

von III_i) $$c_i \bar{\sigma}_i + r_i \bar{\tau}_i + w_1 \bar{\sigma}_i^* + w_2 \bar{\tau}_i^*$$

von IV_i) $$s_i \bar{\sigma}_i + x_i \bar{\tau}_i + w_2' \bar{\sigma}_i^* + w_1' \bar{\tau}_i^*$$

[1] E. Lohr, Entropieprinzip und geschlossenes Gleichungssystem, Denkschr. d. Wien. Akad. (1916), p. 342 und 415.

von III_i^*) $$-w_1\bar{\sigma}_i - w_2'\bar{\tau}_i + c^*\bar{\sigma}_i^* + r_i^*\bar{\tau}_i^*$$

von IV_i^*) $$-w_2\bar{\sigma}_i - w_1'\bar{\tau}_i + s_i^*\bar{\sigma}_i^* + x_i^*\bar{\tau}_i^*$$

Die neu eingeführten, mit den Koeffizienten w_1 w_2 w_1' w_2' behafteten Glieder heben sich weg, wenn man diese Gleichungen mit den Energiefaktoren $\bar{\sigma}_i :$, $\bar{\tau}_i :$, $\bar{\sigma}_i^* :$, beziehungsweise $\bar{\tau}_i^* :$ multipliziert und addiert, sie dienen also nur zur Übertragung der stofflichen Energie der Schwingung $\bar{\sigma}_i^*\,\bar{\tau}_i^*$ auf die Schwingung $\bar{\sigma}_i\,\bar{\tau}_i$ und umgekehrt, aber bewirken keine Produktionen von stofflicher Energie. Damit sie auch keine Produktion von innerer Energie und keine Entropieproduktion bewirken, müssen die Beziehungen bestehen:

197) $$\mathfrak{f}_i w_1 + \mathfrak{f}_i' w_2' = 0, \qquad \mathfrak{f}_i^* w_1 + \mathfrak{f}_i'^* w_2 = 0$$

$$\mathfrak{f}_i w_2 + \mathfrak{f}_i' w_1' = 0, \qquad \mathfrak{f}_i^* w_2' + \mathfrak{f}_i'^* w_1' = 0.$$

Es muß also die Determinante der Koeffizienten w verschwinden und das Verhältnis derselben muß durch das Verhältnis der Energiekonstanten $\mathfrak{f}_i$ $\mathfrak{f}_i'$ $\mathfrak{f}_i^*$, beziehungsweise $\mathfrak{f}_i'^*$ der Gleichungen III_i IV_i III_i^*, beziehungsweise IV_i^* bestimmt sein. Wenn die Koeffizienten w von den stofflichen Variablen unabhängige Konstanten wären, so wären durch diese neuen Schwingungsglieder die vier Differentialgesetze so gekoppelt, daß dadurch nur eine Beeinflussung der beiden Eigenschwingungszahlen p_{0i} und p_{0i}^* und der zugehörigen Dämpfungszahlen und ein simultanes Schwingen aller vier Variablen σ_i τ_i $\bar{\sigma}_i^*$ $\bar{\tau}_i^*$ eintreten würde, wobei es von Anfangsbedingungen abhängen würde, in welchem Amplitudenverhältnis diese beiden Eigenschwingungen von den Schwingungszahlen p_{0i} und p_{0i}^* auftreten. Derartige Verkoppelungen kommen innerhalb des Systems der Differentialgesetze III_i und IV_i wahrscheinlich vor und bewirken die Aussendung von Doublets oder noch komplizierteren Gruppen von Spektrallinien. Dies würde aber die Beziehung zwischen der negativ gedämpften Eigenschwingung $\bar{\sigma}_i^*$ $\bar{\tau}_i^*$ und der positiv gedämpften Eigenschwingung $\bar{\sigma}_i$ $\bar{\tau}_i$ durchaus nicht richtig darstellen. Letztere ist die emittierende Eigenschwingung, das heißt sie ist die unmittelbare Ursache der Anwendung des Lichtes. Erstere muß die exzitierende Eigenschwingung sein, das heißt. sie muß die Ursache der emittierenden Eigenschwingung sein, dieselbe anregen oder exzitieren. Da die emittierende Eigenschwingung $\bar{\sigma}_i$ $\bar{\tau}_i$ positiv gedämpft ist und überdies Energie an das emittierte Licht abgibt, so bedarf sie von Zeit zu Zeit, immer nachdem sie abgeklungen ist, einer neuerlichen Exzitation, damit die Lichtemission fortdauert.

126. Damit die emittierenden Schwingungen $\bar{\sigma}_i$ $\bar{\tau}_i$ frei erfolgen, muß die Energieübertragung von der exzitierenden an die emittierende Schwingung den Charakter einer Stoßerregung haben. Es müssen also die Koppelkonstanten w von den Variablen $\bar{\sigma}_i^*$ und $\bar{\tau}_i^*$ der exzitierenden Schwingung so abhängen, daß sie nahezu Null sind, so lange diese kleine Amplitude hat, aber oberhalb eines gewissen Wertes einer dieser Variablen plötzlich sehr hohe Werte annehmen. Die Form der Funktionen w hat jedenfalls großen Einfluß auf den Charakter der Emission, das heißt auf den Typus des emittierten Spektrums. In dem einfachsten Falle muß

$$w_1 = \frac{\varkappa_1}{m - \bar{\sigma}_{is}^*}\ , \quad w_2 = \frac{\varkappa_2}{m - \bar{\sigma}_{is}^*}\ , \quad w_1' = \frac{\varkappa_1'}{m - \bar{\sigma}_{is}^*}\ , \quad w_2' = \frac{\varkappa_2'}{m - \bar{\sigma}_{is}^*}$$

sein, worin $\varkappa_1$, $\varkappa_2$, $\varkappa_1'$ und $\varkappa_2'$ ungemein kleine Koeffizienten, die eventuell von der Temperatur abhängen können, sind. So lange der Skalar $\bar{\sigma}_{is}^*$ klein ist, sind die Koppelkonstanten w nahezu gleich Null, sobald $\bar{\sigma}_{is}^*$ den konstanten Wert m nahezu erreicht, werden die Koppelfunktionen w plötzlich ungemein groß.

So lange $\bar{\sigma}_{is}^*$ klein ist, also ehe durch die negative Dämpfung der exzitierenden Schwingung dieselbe (unter Abkühlung und Entropieverlust des Mediums) beträchtliche Energie gewonnen hat, beeinflußt daher die exzitierende Schwingung noch gar nicht merklich die emittierenden Schwingungen. Die emittierenden Schwingungen mit der hohen Schwingungszahl p_{0i}, welche positiv gedämpft sind,

haben also Zeit genug, abzuklingen und dabei einen abklingenden Lichtwellenzug auszusenden. Während dieser Zeit ist die exzitierende Schwingung mit der viel kleineren Schwingungszahl p_{0i} ebenso frei und ihre Energie wächst zufolge der negativen Dämpfung allmählich an. Sobald ihre Amplitude hinreichend groß geworden ist, nehmen die Koppelfunktionen w plötzlich sehr hohe Werte an. Es ist unmöglich, daß die Variable $\bar{\mathfrak{s}}_{is}^*$ den Wert m überschreitet, denn sobald sie sich diesem Werte nähert, nehmen die Glieder $w_1 \bar{\mathfrak{s}}_{is}^*$ und $w_2' \bar{\mathfrak{s}}_{is}^*$ der Gleichungen III_i und IV_i hohe Werte an und damit tritt eine rapide Fluxion der Variablen $\bar{\mathfrak{s}}_i$ und $\bar{\mathfrak{t}}_i$ der emittierenden Schwingung, also ein rapides Auftreten einer größeren stofflichen Energie derselben ein. Dies geschieht auf Kosten der Energie der exzitierenden Schwingung, hierdurch sinkt $\bar{\mathfrak{s}}_{is}^*$ und hört die Koppelung der emittierenden und exzitierenden Schwingung sogleich wieder auf, womit die Stoßerregung vollzogen ist. Es folgt nun eine verhältnismäßig lange Zwischenzeit, in welcher die erregten emittierenden Schwingungen abklingen und während welcher eventuell eine einzige exzitierende Schwingung stattfindet. Wenn die negative Dämpfung derselben hinreichend stark ist, wird schon nach Vollendung dieser Schwingung wieder eine Stoßerregung der emittierenden Schwingung erfolgen.

Die Zahl n dieser Stoßerregungen pro Zeiteinheit ist dann gleich der Eigenschwingungszahl p^* der exzitierenden Eigenschwingung

198) $$n = p_{0i}^*.$$

127. Eine Bestätigung der periodischen Exzitation der emittierenden Schwingungen liefert die Struktur der Bandenspektren.[1] Wenn die emittierenden Schwingungen nicht rein sinusförmig sind, so wird stets ein kontinuierliches Spektrum ausgesendet (eine beiderseits verbreiterte Spektrallinie oder eine einseitig verbreiterte Spektrallinie) und die Intensitätsverteilung in diesem Spektrum wird durch die Schwingungsform der emittierenden Schwingung bestimmt. Wenn diese nun überdies periodisch mit der Exzitationszahl n pro Sekunde stoßartig angeregt wird, so ist das Fourier'sche Theorem immer noch mit hinreichender Annäherung anwendbar, wenn die Exzitationszahl n so klein ist, daß die emittierende Schwingung in dem Zeitintervall zwischen je zwei Exzitationen nahezu völlig ausklingen kann. Dann ist also die relative Intensitätsverteilung in dem ausgesendeten Spektrum dieselbe als wenn nur eine einzige einmal angeregte und völlig ausklingende emittierende Schwingung derselben Schwingungsform das Licht aussenden würde, doch sind die absoluten Intensitäten desto größer, je größer n ist. Es wird also wieder eine beiderseits oder eine einseitig verbreiterte Spektrallinie ausgesendet. Andrerseits ist diese periodisch exzitierte, rasch abklingende emittierende Schwingung mit hoher Annäherung eine periodische Funktion der Zeit und kann daher nach der Fourier'schen Reihe in einfache Sinusschwingungen zerlegt werden, deren Schwingungszahlen ganzzahlige Vielfache der Exzitationszahl n sind. Es muß also das ausgesendete Spektrum auch nahezu ein Linienspektrum sein, in welchem der Unterschied der Schwingungszahlen zweier aufeinander folgender Linien ein ganzzahliges Vielfaches der Exzitationszahl n ist, die man hiernach bestimmen kann. Das Spektrum wird sich also bei starker Dispersion als Bandenspektrum erweisen.

128. Die einseitige Verbreiterung der Banden (mit scharfer Kante) läßt erkennen, daß die emittierende Schwingung, welche die Bande aussendet, wenig gedämpft ist, daß aber die Schwingungs- und Dämpfungskonstanten $r_i\ s_i\ c_i\ x_i$ der Differentialgesetze III_i und IV_i dieser emittierenden Schwingung Funktionen der stofflichen Variablen $\bar{\mathfrak{s}}_i^*$ der exzitierenden Schwingung (und zwar in gleicher Weise von derselben abhängig) sind. Im Augenblick der Stoßerregung hat die exzitierende Schwingung stets eine bestimmte Amplitude und $\bar{\mathfrak{s}}_i^*$ einen bestimmten Wert, daher ist auch die Schwingungszahl der emittierenden Schwingung eine bestimmte, jene der Kante der Bande. Nun erfolgen während der sehr langsamen exzitierenden Schwingung viele Millionen der emittierenden Schwingungen aber mit veränderlicher Schwingungszal p_{0i}, da $\bar{\mathfrak{s}}_i^*$ veränderlich ist. Ehe eine einzige exzitierende

[1] Jaumann, Zur Kenntnis des Ablaufes der Lichtemission, Wien. Akad., Bd. 103 (1894) p. 322.

Halbschwingung vollendet ist, ist die emittierende Schwingung abgeklungen, hat sie nach der ersten exzitierenden Halbschwingung noch merkliche Amplitude, so kann eine Bande mit Kopfkante und Schweifkante ausgesendet werden.

129. Die Differentialgesetze III_i IV_i der emittierenden Schwingung sind durch die in ihnen auftretenden dyadischen Derivationen der elektromagnetischen Vektoren

199) $$\alpha_i \nabla, \mathfrak{e} \;,\quad \beta_i \nabla, \mathfrak{e} \;,\quad \alpha_i' \nabla, \mathfrak{m} \quad \text{und} \quad \beta_i' \nabla, \mathfrak{m}\,.$$

an die elektromagnetischen Gleichungen I und II gekoppelt und diese sind durch die in ihnen auftretenden vektorischen Derivationen der dyadischen Variablen

200) $$\nabla \cdot (\alpha_i \bar{\sigma}_i + \beta_i \bar{\tau}_i), \text{ beziehungsweise } \nabla \cdot (\alpha' \bar{\sigma}_i + \beta' \bar{\tau}_i)$$

an die stofflichen Differentialgesetze III_i IV_i gekoppelt.

Zufolge dessen regt ein einfallender Lichtstrahl die Eigenschwingungen der Variablen $\bar{\sigma}_i \bar{\tau}_i$ an, wodurch sich nach Kapitel 8 die höheren optischen Erscheinungen, insbesondere Dispersion und Absorption des Lichtes erklären. Umgekehrt regt die an die elektromagnetischen Schwingungeu direkt gekoppelte Eigenschwingung $\bar{\sigma}_i \bar{\tau}_i$ des Mediums die Emission elektromagnetischer Strahlen an. Diese Eigenschwingungen sind nahezu räumlich homogen, das heißt sie mögen in Raumgebieten, welche kleine Bruchteile eines Kubikmillimeters sind, vom Orte unabhängig sein, die Eigenschwingungen ausgedehnterer Körper sind aber inhomogen, das von verschiedenen Stellen derselben emittierte Licht ist inkohaerent. Es treten also merkliche Werte der vektorischen Derivationen (200) überall in dem Medium auf, welche sich mit der Schwingungszahl p_{0i} und Dämpfungszahl $\varkappa_i$ der Eigenschwingung ändern. Da sie Glieder der elektromagnetischen Gleichungen I und II sind, so regen sie aufgezwungene elektromagnetische Schwingungen mit der Schwingungszahl p_{0i} und Dämpfungszahl $\varkappa_i$ an, welche als elektromagnetische Erschütterungszentren wirken und die Quellen der emittierten elektromagnetischen Strahlen sind. Es müssen ebensowohl transversale Strahlen (Licht, Wärmestrahlen) als longitudinale elektrische Strahlen (Kathodenstrahlen, Anodenstrahlen) von einem heißen Körper ausgesendet werden, letztere gelangen aber ihrer starken Absorption (geringen Durchdringungsfähigkeit) und geringen Fortpflanzungsgeschwindigkeit wegen nur selten zur Beobachtung. Die von Wehnelt entdeckte Aussendung von Kathodenstrahlen durch glühende negativ geladene Metalloxyde im Vakuum und die von Gehrke und Reichenheim entdeckte Aussendung von Anodenstrahlen stellen (selektive) longitudinale Temperaturstrahlungen dar.

130. Es wurde im obigen nachgewiesen, daß die charakteristische Tatsache der Wärmestrahlung (Verwandlung von Wärme in elektromagnetische Strahlung) qualitativ vollkommen aus den Differentialgesetzen meiner Theorie folgt und daß dieser merkwürdige Vorgang dabei bis zum tiefsten Grunde anschaulich und der Rechnung zugänglich wird. Da diese Differentialgesetze ferner exakt auf das Energieprinzip und auf das Entropieprinzip abgestimmt sind und aus ihnen auch die Tatsache der Reflexion, Dispersion und Absorption der Licht- und Wärmestrahlen folgt, so müssen auch die quantitativen Strahlungsgesetze von Kirchhoff, Boltzmann und W. Wien ohne weiteres Zutun rein deduktiv aus den Differentialgesetzen meiner Theorie folgen. Es können dabei nur mathematische Schwierigkeiten eintreten. So zum Beispiel ist es gegenwärtig nicht möglich, ein exaktes Integral der Differentialgesetze meiner Theorie anzugeben, welches die Hohlraumstrahlung durch eine kleine Öffnung darstellt. Doch kann kein Zweifel sein, daß dieses Integral eine Strahlung darstellen muß, welche der eines absolut schwarzen Körpers gleich ist. Ein nahezu schwarzer Körper ist aber nach meiner Theorie denkbar.

Das hohe Absorptionsvermögen desselben beruht auf dem hohen Werte der Dämpfungskonstante c_i und x_i der stofflichen Differentialgesetze, nicht auf einer metallischen Leitfähigkeit. Das Reflexionsvermögen dieses schwarzen Körpers kann nahezu Null sein. Die Schwingungskonstante r_i s_i, sowie die Dämpfungskonstante c_i x_i sind Funktionen der Temperatur. Wir haben allerdings

in Gleichung (175) einen derartigen Wert der Entropie S angenommen, daß daraus nach (181) folgt, daß die Schwingungs- und Dämpfungskonstanten bei jeder Temperatur im konstanten Verhältnis zueinander bleiben, daß also auch das Verhältnis der Dämpfungszahl $\varkappa_i$ zu der Schwingungszahl p_{0i} einer emittierenden Eigenschwingung (und ebenso das Verhältnis von $\varkappa_i^*$ und p_{0i}^* für die exzitierenden Eigenschwingungen) von der Temperatur unabhängig ist

201) $$\frac{\partial}{\partial T}\frac{\varkappa_i}{p_{0i}} = 0, \quad \frac{\partial}{\partial T}\frac{\varkappa_i^*}{p_{0i}^*} = 0.$$

Mit diesem Ansatze haben wir aber offenbar die Lichtemission der Gase von der Betrachtung ausgeschlossen. Sind die Dämpfungskonstanten c_i und x_i nahezu Null, so kann das Gas nur ein Linienspektrum emittieren und wird nach § 60 dieselben Linien selektiv absorbieren. Bei Erhöhung der Temperatur (zum Beispiel im Bogenspektrum) verbreitern sich die Spektrallinien ganz bedeutend, woran man nach Gleichung (187) erkennt, daß die Dämpfungszahl $\varkappa_i$ der emittierenden Schwingungen mit der Temperatur stark wächst. Die Schwingungszahl p_{0i} derselben bleibt aber erfahrungsgemäß nahezu konstant, also ist für Gase die Beziehung (201) nicht erfüllt und gilt daher die Beziehung (179) nicht. Bei Gasen sind vielmehr die Schwingungskonstanten r_i s_i von der Temperatur nahezu unabhängig. Bei schwarzen Körpern ist aber die Beziehung (201) erfüllt.

131. Die Licht- und Wärmestrahlung erfolgt nach meiner Theorie quantenhaft (im Planck'schen Sinne des Wortes). Die Energieabgabe der exzitierenden Schwingung an die emittierende Schwingung muß bei quasistationärer Strahlung gleich sein dem Energiezuwachs der exzitierenden Schwingung in dem Zeitintervall zwischen zwei aufeinanderfolgenden Exzitationen (Stoßerregungen), also während einer Schwingungsdauer der exzitierenden Schwingung. Dieser Energiezuwachs erfolgt durch die negative Dämpfung dieser Schwingung. Wenn $\varkappa_i^*$ die Dämpfungszahl und p_{0i}^* die Schwingungszahl derselben ist, so nimmt ihre Amplitude wärend einer Schwingungsdauer $1/p_{0i}^*$ im Verhältnis

$$1 : e^{2\pi\frac{\varkappa_i^*}{p_{0i}^*}}$$

zu. Da nach (201) das Verhältnis $\varkappa_i^*/p_{0i}^*$ von der Temperatur unabhängig ist, so ist das Energiequantum, welches die exzitierende Schwingung an die emittierende Eigenschwingung bei jeder Stoßerregung abgibt, von der Temperatur unabhängig. Dies kann auch für die Lichtemission der Gase gelten.

132. Als ein idealer nahezu schwarzer Körper möge ein Medium bezeichnet werden, dessen Absorption eine sehr starke ist und dessen Schwingungs- und Dämpfungskonstante r_i^* s_i^* c_i^* und x_i^*, r_i s_i c_i und x_i sämtlich der absoluten Temperatur proportional sind. Es ist dies weitaus die einfachste denkbare Art der Temperaturabhängigkeit dieser Koeffizienten, weil dann die sämtlichen Glieder der Wärmegleichung V_s) und des Differentialgesetzes V_s^* der absoluten Temperatur proportional sind, so daß man diese Differentialgesetze mit $1/T$ durchmultiplizieren kann, wodurch die Koeffizienten aller Glieder derselben reine Konstante werden. Es sind dann nach (181) die Entropiefaktoren $\psi(T)$ dieses idealen Mediums der absoluten Temperatur verkehrt proportional

202) $$\psi(T) = \frac{1}{T}$$

was ebenfalls eine sehr einfache Bedeutung hat. Wir betrachten zunächst ein ideales Medium, welches nur einer einzigen emittierenden stofflichen Eigenschwingung von der Schwingungszahl p_{0i} und der Dämpfungszahl $\varkappa_i$ fähig ist. Diese Schwingungszahl p_{0i} kann jedoch auch imaginär sein, ja es trifft dies gerade in dem Falle des nahezu schwarzen Mediums ein. In diesem Falle ist die emittierende Eigenschwingung (184) überaperiodisch gedämpft, und zwar ist

$$\varphi(t) = \frac{i}{2} A \left(e^{-(\varkappa + i p_0) t} - e^{-(\varkappa - i p_0) t}\right),$$

Da die Schwingungs- und Dämpfungskonstanten r_i, s_i, c_i und x_i der absoluten Temperatur proportional sind, so muß nicht nur die Dämpfungszahl $\varkappa_i$, sondern merkwürdigerweise auch die Schwingungszahl p_{0i} der absoluten Temperatur proportional sein:

203) $$\varkappa_i = \varkappa_0\, T, \qquad p_{0i} = p_{00}\, T,$$

worin $\varkappa_0$ und p_{00} reine Konstante sind. Das gleiche gilt auch für die Schwingungszahl p_{0i}^* der exzitierenden Schwingung und daher auch für die Exzitationszahl n (198)

204) $$n = n_0\, T$$

worin n_0 eine von der Temperatur unabhängige Konstante ist.

133. Das Strahlungsgesetz (189) für das Emissionsvermögen e_0 eines solchen idealen Mediums nimmt daher die Form an:

205) $$e_0 = A^2 n_0 \varkappa_0^2 p_{00}^2 T^5 \frac{p^6}{[(\varkappa_0^2 T^2 + p_{00}^2 T^2 + p^2)^2 - 4 p_{00}^2 T^2 p^2]^2}.$$

Es muß nun festgestellt werden, wie die Anfangsamplitude A der emittierten abklingenden Lichtwelle von der Temperatur abhängt. Nach (177) müssen die Koeffizienten α_i, β_i, α_i', β_i' sämtlich der Temperaturfunktion ψ (T) verkehrt proportional sein, was eine Forderung des Entropieprinzips ist, die Koeffizienten müssen daher für einen solchen Körper ebenfalls der absoluten Temperatur proportional sein. Es sind dies aber die Koeffizienten der elektromagnetischen Derivationsglieder, welche nach (200) die emittierende Eigenschwingung an die elektromagnetischen Schwingungen koppeln und dadurch die Aussendung der elektromagnetischen Strahlen bewirken. Wenn alle anderen dabei beteiligten Materialkonstanten von der Temperatur unabhängig sind, so muß daher die Amplitude A der emittierten Lichtwelle cet. par. der absoluten Temperatur proportional sein:

206) $$A = A_0\, T,$$

worin A_0 ein von der Temperatur unabhängiger Wert ist. Hiermit folgt aus (205) für das Emissionsvermögen des idealen nahezu schwarzen Mediums das Gesetz:

207) $$e_0 = C_0\, T^5 \frac{\left(\dfrac{p}{T}\right)^6}{\left[\left(\varkappa_0^2 + p_{00}^2 + \dfrac{p^2}{T^2}\right)^2 - 4 p_{00}^2 \dfrac{p^2}{T^2}\right]^2} \quad \text{worin } C_0 = A_0^2 n_0 \varkappa_0^2 p_{00}^2$$

eine von der Temperatur unabhängige positive Konstante ist.[1]

134. Es ergibt sich also aus meiner Theorie ein Strahlungsgesetz, welches die allgemeine Form des Wien'schen Strahlungsgesetzes für einen absolut schwarzen Körper:

208) $$e_0 = T^5 f(\lambda \cdot T)$$

hat, da nach (188) $p/T = 4\pi c_0/\lambda \cdot T$ ist. Das Strahlungsgesetz (207) hat die Form

209) $$e_0 = K\, T^5 \frac{\lambda^2 T^2}{(\lambda^4 T^4 + \alpha \lambda^2 T^2 + \beta)^2}$$

worin:

210) $$K = \frac{(4\pi c_0)^6}{(\varkappa_0^2 + p_{00}^2)^4}\, C_0$$

---

[1] Es ist zu bemerken, daß p_{00} auch imaginär sein kann, so daß die emittierende Schwingung überaperiodisch gedämpft ist. Dann muß aber auch A_0 imaginär sein, so daß $A_0^2\, p_{00}^2$ eine positive Zahl ist. Denn da $\varphi(t)$ (Gl. 184) eine reelle Größe und der Sinus einer imaginären Zahl rein imaginär ist, müssen A_0 und p_0 gleichzeitig imaginär werden.

211) $$\alpha = \frac{(4\pi c_0)^2}{(K_0^2 + p_{00}^2)^2} \cdot (2\varkappa_0^2 - 2p_{00}^2) \qquad 212) \quad \beta = \frac{(4\pi c_0)^4}{(\varkappa_0^2 + p_{00}^2)^2}.$$

Die Wellenlänge λ_{max} des Emissionsmaximums ergibt sich aus $\partial e_0/\partial\lambda = 0$ (für $T = \text{const.}$) in der Form des Wien'schen Verschiebungsgesetzes

$$\lambda_{max} \cdot T = A,$$

dessen Konstante den Wert

213) $$A = \sqrt{-\frac{\alpha}{6} + \frac{1}{6}\sqrt{\alpha^2 + 12\beta}}$$

hat. Durch Einsetzen dieses Wertes in das Strahlungsgesetz (209) ergibt sich für das Emissionsmaximum

$$e_{0\,max} = B\,T^5,$$

worin

214) $$B = \frac{27}{2} K \frac{-\alpha + \sqrt{\alpha^2 + 12\beta}}{\left(\alpha\sqrt{\alpha^2 + 12\beta} + \frac{\alpha^2}{4} + 4\beta\right)^2}.$$

Um die Energie der Gesamtstrahlung zu bestimmen, bildet man das Integral:

215) $$\int_0^\infty e_0\,d\lambda = C\,T^4.$$

Die Konstante C dieses dem Boltzmann-Stephan'schen analogen Gesetzes hat den Wert

216) $$C = \frac{\pi}{2} K \left[\frac{1}{2\delta}\left(\frac{1}{\sqrt{p_2}} + \frac{1}{\sqrt{p_1}}\right) + \frac{2}{\delta^{\frac{3}{2}}}\left(\frac{1}{\sqrt{p_2}} - \frac{1}{\sqrt{p_1}}\right)\right],$$

$$\text{worin } p_2 = \frac{\alpha}{2} + \sqrt{\frac{\alpha^2}{4} - \beta}, \quad p_1 = \frac{\alpha}{2} - \sqrt{\frac{\alpha^2}{4} - \beta}$$

217) $$\text{und} \qquad \delta = \alpha^2 - 4\beta > 0,$$

Es wurde hierbei vorausgesetzt, daß die Diskriminante δ positiv ist. Endlich bestimmen wir die Gleichung der Enveloppe der Schar der Strahlungskurven. Dieselbe lautet

$$(\partial e_0/\partial T) = 0 \text{ (für } \lambda = \text{const.)}.$$

Für das von ihr abgeschlossene Gebiet ist

218) $$\lambda^2 T^2 \gtreqless \frac{3}{2}\alpha + \sqrt{\frac{9}{4}\alpha^2 + 7\beta}$$

Falls das Ungleichheitszeichen gilt, ist $\partial e_0/\partial T > 0$, also überhöhen dann die Strahlungskurven höherer Temperaturen jene der niedrigeren Temperaturen, ohne sie zu schneiden, so wie dies bei der Hohlraumstrahlung der Fall ist. Betrachten wir zunächst irgendein spezielles dieser idealen Medien, zum Beispiel jenes, für welches $\varkappa_0^2 = p_{00}^2$ oder $\alpha = o$ ($\delta < 0$) ist. Für diesen Fall ist die Integration (215) leicht besonders auszuführen und es ergibt sich

$$A = \sqrt[4]{\frac{\beta}{3}}, \qquad B = \frac{3^{3/2}}{16}\frac{K}{\sqrt{\beta^3}}, \qquad C = \frac{1}{3}(\pi\sqrt{2} - 4)\,A\,B.$$

Für einen absolut schwarzen Körper ist

219) $$C = 4 \cdot 18 \cdot 10^9\,A\,B.$$

Wenn also K und β solche Werte haben, daß die Wellenlänge λ_{max} der maximalen Strahlung und deren Intensität $e_{0\,max}$ für den betrachteten idealen speziellen Körper dieselben Werte, wie für einen schwarzen Körper haben, dann ist die Gesamtintensität CT^4 seiner Strahlung 2.79×10^{10} mal kleiner als jene des schwarzen Körpers. Dieses Medium sendet also nicht ein kontinuierliches Spektrum, wie

der schwarze Körper, sondern nur eine verbreiterte Spektrallinie aus, die sich aber nach dem Wien'schen Verschiebungsgesetz im Spektrum verschieben würde. Die Schar der Strahlungskurven desselben für verschiedene Temperaturen hätte eine erkennbare Enveloppe, da die Gleichung (218) in dem Beobachtungsbereiche erfüllt sein kann.

135. Damit die Gesamtstrahlung eines nahezu schwarzen Körpers, also die Boltzmann'sche Konstante C desselben den für die Hohlraumstrahlung beobachteten sehr hohen Wert annimmt, muß nach (216) die Diskriminente δ sehr klein, nahezu gleich Null sein.

Nach (211) und (212) folgt aber aus $\alpha^2-4\beta \doteq 0$, daß die Eigenschwingungszahl p_0 nahezu Null ist $p_{00} \doteq 0$. Während die Dämpfungszahl $\varkappa_0$ der emittierenden Schwingung des schwarzen Körpers groß ist, ist die Schwingungszahl p_{00} desselben nahezu gleich Null, das heißt die emittierende Schwingung desselben ist nahezu aperiodisch gedämpft. Es ist, falls δ nahezu gleich Null ist, nach (213) und (215)

220) $$\alpha \doteq 6\,A^2 \quad \text{und} \quad K \doteq \frac{5}{54}\,\alpha B.$$

Aus den für die Hohlraumstrahlung beobachteten Werten

$$A = 0\cdot 288 \quad \text{und} \quad B = 2\cdot 92 \times 10^{-12} \text{ (c. g. s. Celsiusgrad)}$$

ergeben sich daher die Werte von α und K, und aus ersterem nach (211) die Dämpfungszahl $\varkappa$ der emittierenden Schwingung des nahezu schwarzen Körpers:

$$\varkappa \doteq \varkappa_0\,T, \text{ worin } \frac{\varkappa_0}{2\pi} \doteq 1.2 \times 10^{11} \text{ sec}^{-1}.$$

Der Wert von δ ergibt sich aus (216) und (219) zu:

$$\delta \doteq \frac{5\sqrt{3}}{27} \cdot \frac{\pi}{2}\frac{A\,B}{C} = 0.12 \times 10^{-9}.$$

Da nach (211) und (212)

$$\delta = \alpha^2 - 4\beta = -\left(\frac{8\pi c_0}{\varkappa_0^2+p_{00}^2}\right)^4 \varkappa_0^2 p_{00}^2 \doteq -\frac{(8\pi c_0)^4}{\varkappa_0^6}\,p_{00}^2,$$

so ergibt sich ein imaginärer Wert von p_{00}, nämlich:

$$\frac{i p_{00}}{2\pi} = 1.25 \times 10^7 \,(sec^{-1}).$$

Diese Überschreitung der eben aperiodischen Dämpfung ist aber gegen die Dämpfungszahl $\varkappa_0/2\pi$ sehr klein. Nach (218) und (220) hat die Enveloppe der Schar der Strahlungskurven dieses nahezu schwarzen Körpers die Gleichung

$$\lambda^2 T^2 = \frac{7}{2}\alpha = 21\,A^2 \quad \text{oder} \quad \lambda T = 1.32 \text{ (}cm\text{ Celsiusgrad).}$$

Diese Enveloppe liegt schon an der Grenze jenes Gebietes, in welchem die Hohlraumstrahlung leicht beobachtet werden kann.[1] Ihre Koordinaten sind für

$T = 500°$,	$1000°$,	$1500°$,	$2000°$ C
$\lambda = 26.4\,\mu$,	$13.2\,\mu$,	$8.8\,\mu$,	$6.6\,\mu$.

Der hier betrachtete ideale nahezu schwarze Körper mit einer einzigen etwas überaperiodisch gedämpften emittierenden Eigenschwingung strahlt also nach nahezu demselben Gesetze wie ein absolut schwarzer Körper, insbesondere können die Konstanten A, B und C seiner Strahlungsgesetze

[1] Vgl. Lummer und Pringsheim, Ann. d. Phys. 6 (1901), p. 200.

exakt denselben Wert wie die entsprechenden Konstanten der Hohlraumstrahlung haben. Dennoch ist bei sehr großen Wellenlängen ein Unterschied merklich, indem diese von dem schwarzen Körper meiner Theorie weniger stark ausgesendet werden, als von dem Hohlraume. Dies ist ganz natürlich. Alle nicht metallisch leitenden Medien absorbieren nach meiner Theorie die Strahlen sehr großer Wellenlänge z. B. die Hertz'schen Strahlen sehr wenig, können also diese unmöglich so stark wie der absolute schwarze Körper ausstrahlen. Endlich ist zu bemerken, daß die natürlichen nahezu schwarzen Körper nicht bloß eine einzige etwas überaperiodisch gedämpfte emittierende Eigenschwingung haben werden, sondern deren mehrere bis viele, deren Strahlungsmaxima viel flacher sein und im ultraroten Spektrum liegen können. Hiedurch werden die resultierenden Strahlungskurven in dem Gebiete der langen Wellen gehoben und haben keine beobachteten Enveloppe mehr.

V. Theorie der chemischen Erscheinungen.

20. Die chemischen Differentialgesetze.

136. Das im obigen ausgebildete System der Differentialgesetze gilt für einen chemisch einheitlichen Stoff. Für die Superposition zweier oder vieler verschiedener Stoffe im selben Raume muß ein komplizierteres System von Differentialgesetzen gelten. Als homogene Superposition zweier Stoffe möge eine ideal homogene Durchdringung derselben unter Voraussetzung der absoluten Kontinuität der Materie bezeichnet werden. Da wir über die präzisen Ausdrucksmittel der Differentialgesetze verfügen, können wir die verschiedenen Arten der homogenen Superposition zweier Stoffe im Anschlusse an die Erfahrung exakt unterscheiden. In einem Raume, in welchem nur der Stoff i mit der Dichte ρ_i vorhanden ist, gilt das im obigen entwickelte System der Differentialgesetze, alle Materialkoeffizienten desselben mögen mit dem Index i versehen werden, um anzudeuten, daß sie mit der Dichte ρ_i verschwinden, und von der chemischen Natur des Stoffes i abhängig sind. Mischt man zwei solche Stoffe 1 und 2, so kann der Grenzfall eintreten, daß sie hiebei einen einheitlichen Stoff ergeben, den wir dann ihre chemische Verbindung nennen und durch den Doppelindex 12 bezeichnen. Das andere Extrem wäre die vollkommen freie Durchdringung der Stoffe bei ihrer Mischung. In diesem Falle werden in der Mischung die beiden Systeme von Differentialgesetzen, welche den beiden superponierten Stoffen einzeln eigentümlich sind, gleichzeitig und unabhängig von einander gelten. In diesem Raume wäre also auch die Anzahl aller realen physikalischen Variablen verdoppelt. In jedem Punkte des ideal kontinuierlichen Mediums wären zwei Geschwindigkeiten vorhanden: die Geschwindigkeit $\mathfrak{v}_1$ des Stoffes 1 und die Geschwindigkeit $\mathfrak{v}_2$ des Stoffes 2, ebenso zwei Temperaturen T_1 und T_2, zwei von einander gänzlich unabhängige elektrische Feldstärken $\mathfrak{e}_1$ und $\mathfrak{e}_2$ u. s. f. Dieser Fall der freien Durchdringung zweier Stoffe kommt in der Natur nicht vor. Wenn bei der Mischung zweier Stoffe auch keine chemische Verbindung derselben eintritt, so verbinden sich doch viele Differentialgesetze des Systems 1 mit den entsprechenden Differentialgesetzen des Systems 2 zu einheitlichen Differentialgesetzen mit anderen Materialkoeffizienten, die sich meist sehr einfach aus den entsprechenden Koeffizienten der ungemischten Stoffe ableiten. Insbesondere gibt es in jedem Punkt einer Mischung nur eine Geschwindigkeit, nur eine elektrische und magnetische Feldstärke, und nur eine Temperatur. Andere Differentialgesetze bleiben aber in der Mischung völlig getrennt, das heißt die betreffenden Variablen, deren Fluxionen durch diese Gesetze bestimmt werden, sind in doppelter Anzahl vorhanden. Vor allem gilt dies für die Dichten ρ_1 und ρ_2 der gemischten Stoffe, für deren jede einzeln eine Kontinuitätsgleichung gilt. Ferner beruht die Spektralanalyse der Mischungen von Gasen darauf, daß die gemischten Stoffe das Emissions- und Absorptionsvermögen, also überhaupt alle höheren optischen Eigenschaften in der Mischung unabhängig voneinander bewahren. In bezug auf die stofflichen Differentialgesetze III_i, IV_i, III_i^* und IV_i^* findet also eine freie

Durchdringung (s. o.) der gemischten Stoffe statt. Es gelten die beiden Systeme dieser Differentialgesetze, welche einzeln in jedem der ungemischten Stoffe gelten, in der Mischung gleichzeitig und unabhängig voneinander, letzteres wenigstens dann, wenn kein Einfluß einer Beimischung auf das Spektrum eines Gases vorhanden ist, außer dem auf die bloße Verdünnung zurückzuführenden. Da es Mischungen von tausenden von Stoffen gibt, so gelten in diesen tausende von Systemen von stofflichen Differentialgesetzen III_i, IV_i gleichzeitig, was durchaus keine Schwierigkeit einführt, da diese Systeme voneinander unabhängig sind und ihr Einfluß auf die physikalischen Differentialgesetze I, II und V sich einfach addiert. Diese Komplikation der Systeme von Dfferentialgesetzen ist der tatsächlichen Komplikation der Spektren angemessen, und die richtige Art, dieselbe zu beschreiben.

137. Bei der Mischung zweier Stoffe 1 und 2 findet im allgemeinen eine teilweise chemische Verbindung derselben statt, das heißt die Dichten ρ_1 und ρ_2 derselben nehmen, während ein neuer Stoff, das Verbindungsprodukt 12, auftritt und seine Dichte ρ_{12} ansteigt, derartig ab, daß sie nicht mehr die Kontinuitätsgleichung erfüllen. Das Verbindungsprodukt 12 ist in physikalischer Beziehung ein einheitlicher Stoff, so daß also nur drei verschiedene Systeme von stofflichen Differentialgesetzen in der teilweise verbundenen Mischung gelten. In chemischer Beziehung stellt aber bekanntlich das Verbindungsprodukt eine Superposition der zwei Elemente oder Komponenten desselben dar. Dies kann dadurch zu exaktem Ausdruck gebracht werden, daß man vier voneinander unabhängige reale physikalische Variable ρ_1, ρ_2, ρ_{12} und ρ_{21} annimmt, deren Fluxionen durch vier angemessene Differentialgesetze bestimmt werden, von welchen die Summen $(\rho_1+\rho_{12})$ und $(\rho_2+\rho_{21})$ Kontinuitätsgleichungen erfüllen:

$$\mathrm{VI}_1+\mathrm{VI}_{12}) \qquad \frac{\delta}{\delta t}(\rho_1+\rho_{12}) = \frac{d}{dt}(\rho_1+\rho_{12}) + (\rho_1+\rho_{12})\,\mathrm{div}\,\mathfrak{v} = 0$$

$$\mathrm{VI}_2+\mathrm{VI}_{21}) \qquad \frac{\delta}{\delta t}(\rho_2+\rho_{21}) = \frac{d}{dt}(\rho_2+\rho_{21}) + (\rho_2+\rho_{21})\,\mathrm{div}\,\mathfrak{v} = 0.$$

Man kann dann die fundamentale Tatsache der Erhaltung der Stoffe bei chemischen Verbindungen dadurch zum Ausdruck bringen, daß man die Variable ρ_{12} als die Dichte des gebundenen Anteiles der Komponente 1 und ebenso die Variable ρ_{21} als die Dichte des in dem Verbindungsprodukte enthaltenen Anteiles der Komponente 2 betrachtet. Es sind also vier chemisch verschiedene Stoffe mit den zunächst voneinander unabhängigen Dichten ρ_1, ρ_2, ρ_{12} und ρ_{21} miteinander gemischt. Das obige Differentialgesetz $(\mathrm{VI}_1+\mathrm{VI}_{12})$ sagt aus, daß sich der Stoff ρ_1 in den Stoff ρ_{12} verwandeln kann, es ist also der Stoff ρ_{12} gewissermaßen eine allotrope Modifikation des Stoffes ρ_1 und das gleiche gilt für die beiden Stoffe mit dem Dichten ρ_{21} und ρ_2. Es gelten aber nicht vier verschiedene Systeme von optischen oder stofflichen Differentialgesetzen III_i, IV_i in dieser Superposition, sondern es gelten nur drei verschiedene Systeme. Die Materialkoeffizienten der stofflichen Differentialgesetze sind, wie oben § 116 ausgeführt wurde, jedenfalls der Dichte des betreffenden Stoffes proportional und verschwinden mit demselben. Dies ist aber der einzige Umstand, wodurch sich das System der stofflichen Differentialgesetze, welche für den Stoff ρ_{12} gelten, von jenen für den Stoff ρ_{21} unterscheiden. Die Stoffe ρ_{12} und ρ_{21} haben daher genau dieselben Materialkoeffizienten, genau dieselben physikalischen Eigenschaften, sie sind daher durch physikalische Mittel nicht entmischbar, zu einem physikalisch einheitlichen Stoffe, dem Verbindungsprodukte, verbunden. In chemischer Beziehung ist aber nach meiner Auffassung das Verbindungsprodukt nicht einheitlich, sondern besteht aus zwei chemisch verschiedenen Stoffen, deren Dichten ρ_{12} und ρ_{21} voneinander vollkommen unabhängig sind, indem ihre Fluxionen durch voneinander unabhängige Differentialgesetze bestimmt werden, deren Form wir nun kennen lernen wollen.

138. Man kann entweder die Variablen ρ_1, ρ_2, ρ_{12}, ρ_{21} oder die Variablen $\rho' = (\rho_1+\rho_{12})$, $\rho'' = (\rho_2+\rho_{21})$, ρ_{12} und ρ_{21} als reale Variable ansehen. Es sind ρ', beziehungsweise ρ'' die gesamten

Dichten der Komponenten, welche die obigen Kontinuitätsgleichungen ($VI_1 + VI_{12}$), beziehungsweise ($VI_2 + VI_{21}$) erfüllen. Es handelt sich also nur um die Aufstellung der zwei Differentialgesetze, welche die Fluxionen der gebundenen Dichten ρ_{12} und ρ_{21} bestimmen. Dieselben müssen (abgesehen von elektrolytischen und Diffusionswirkungen) die Form haben:[1]

$$VI_{12})\qquad \frac{\delta \rho_{12}}{\delta t} - \mathfrak{k}_1 K \hat{\rho}_1^{\alpha_1} \hat{\rho}_2^{\alpha_2} + c_{12}\,\rho_{12} + s_{21}\,\rho_{21} = 0$$

$$VI_{21})\qquad \frac{\delta \rho_{21}}{\delta t} - \mathfrak{k}_2 K \hat{\rho}_2^{\alpha_2} \hat{\rho}_1^{\alpha_1} + c_{21}\,\rho_{21} + s_{12}\,\rho_{12} = 0$$

Hierin sind die Dämpfungs- und Schwingungskonstanten c_{12} und c_{21}, s_{21} und s_{12} reine skalare Konstante, ebenso $\mathfrak{k}_1$ und $\mathfrak{k}_2$, während K eine Temperaturfunktion ist. Diese Differentialgesetze unterscheiden sich nur wenig von der Differentialgleichung der chemischen Kinetik, welche die Reaktionsgeschwindigkeit und im Falle des chemischen Gleichgewichtes das Guldberg-Waage'sche Massenwirkungsgesetz darstellen, und zwar hauptsächlich dadurch, daß die miteinander verbundenen Dichten als voneinander unabhängige Variable aufgefaßt werden. Ferner sind die Schwingungsglieder $s_{21}\rho_{21}$ und $s_{21}\rho_{12}$ eingeführt, wodurch diese chemischen Differentialgesetze Ähnlichkeit mit einem Paare $III_i\ IV_i$ der stofflichen Differentialgesetze erhalten und chemische Oszillationen bei jeder Störung des chemischen Gleichgewichtes bestimmt würden. Doch werden wir meist $s_{12} = s_{21} = 0$ setzen, also aperiodischen Ablauf der chemischen Vorgänge annehmen. $\hat{\rho}_1$ und $\hat{\rho}_2$ sind zunächst unbekannte Funktionen von ρ_1, ρ_2, ρ_{12} und ρ_{21}, doch wird sich im allgemeinen $\hat{\rho}_1$ nur wenig von ρ_1 und $\hat{\rho}_2$ nur wenig von ρ_2 unterscheiden. α_1 und α_2 sind mit Rücksicht auf das Guldberg-Waage'sche Gesetz zwei rationale Zahlen. Aus diesen Differentialgesetzen folgt für den statischen Fall

$$221)\qquad \frac{\rho_{12}}{\rho_{21}} = \frac{\mathfrak{k}_1 c_{21} - \mathfrak{k}_2 s_{21}}{\mathfrak{k}_2 c_{12} - \mathfrak{k}_1 s_{12}} = \frac{A_1}{A_2}.$$

Die Dichten der mit einander verbundenen Anteile der Komponenten 1 und 2 stehen im Ruhefalle in konstantem Verhältnis. Die Konstanten A_1 und A_2 sind die Äquivalentgewichte, und da diese den Gay-Lussac'schen Gaskonstanten R_1, beziehungsweise R_2 der Elemente verkehrt proportional sind, so müssen die Konstanten c_{21} und s_{21} der Gaskonstanten R_2 der Komponente 2, und ebenso c_{12} und s_{12} der Konstanten R_1 proportional sein.

139. Wir wollen nun diese chemischen Differentialgesetze mit dem Energie- und Entropieprinzip in Übereinstimmung bringen und dabei verlangen wir überdies, daß diese Differentialgesetze zusammen mit der Wärmegleichung V_s) und der Bewegungsgleichung 0) ein in dem einfachsten Falle in sich energetisch und entropisch geschlossenes Gleichungssystem bilden sollen. Dasselbe hat die allgemeine Form:

$$VI_{12})\quad \frac{d\rho_{12}}{dt} + \rho_{12}\operatorname{div}\mathfrak{v} + f_1 = 0 \qquad VI_{21})\quad \frac{d\rho_{21}}{dt} + \rho_{21}\operatorname{div}\mathfrak{v} + f_2 = 0$$

$$VI_1)\quad \frac{d\rho_1}{dt} + \rho_1\operatorname{div}\mathfrak{v} - f_1 = 0 \qquad VI_2)\quad \frac{d\rho_2}{dt} + \rho_2\operatorname{div}\mathfrak{v} - f_2 = 0$$

$$V_s)\quad C\frac{dT}{dt} + p''\operatorname{div}\mathfrak{v} + f - \lambda(\nabla T)^2 = T\operatorname{div}\lambda\triangle T \qquad 0)\quad \rho\frac{d\mathfrak{v}}{dt} + \nabla P = 0.$$

Hierin sind f_1 und f_2 die Verwandlungsglieder der chemischen Differentialgesetze, ihre spezielle Form wurde weiter oben in Gleichung VI_{12}) und VI_{21}) angegeben. Gleichung V_s) ist eine (vereinfachte) Form der Wärmegleichung. p'' und f sind Funktionen der skalaren realen Variablen dieses Systems. f ist ein Teil des Verwandlungsgliedes der Wärmegleichung, das heißt, f enthält keine Deri-

---

[1] Jaumann, Geschlossenes Gleichungssystem. Wien. Akad., Bd. 120, p. 465 (1911).

vationen der Variablen. $\lambda\,(\nabla T)^2$ ist die nichtumkehrbare Wärmeproduktion bei der Wärmeleitung, λ ist die Wärmeleitfähigkeit. Bei der Bildung der Energiegleichung müssen diese Differentialgesetze, beziehungsweise mit den Energiefaktoren

$$\frac{\partial U}{\partial \rho_{12}}, \quad \frac{\partial U}{\partial \rho_{21}}, \quad \frac{\partial U}{\partial \rho_1}, \quad \frac{\partial U}{\partial \rho_2}, \quad 1 \quad \text{und} \quad \mathfrak{v}.$$

multipliziert und addiert werden. Es muß $C = \partial U/\partial T$ sein.

Die Fluxionsglieder geben hiebei die totale Fluxion der inneren Energie U und der Bewegungsenergie an die Energiegleichung ab. Die Deformationsglieder, das sind die Glieder, welche div $\mathfrak{v}$ enthalten, müssen nach Multiplikation mit den Energiefaktoren zusammengenommen den Wert $(P+U)$ div $\mathfrak{v}$ an die Energiegleichung abgeben, welcher den aus der Bewegungsgleichung stammenden Energiewert $\mathfrak{v}\cdot\nabla P$ zu der Divergenz des dynamischen Energieflusses $P\mathfrak{v}$ und die totale Fluxion der inneren Energie zu der materiellen Fluxion ergänzt. Dies gibt die Bedingung:

222) $$\rho_{12}\frac{\partial U}{\partial \rho_{12}} + \rho_{21}\frac{\partial U}{\partial \rho_{21}} + \rho_1\frac{\partial U}{\partial \rho_1} + \rho_2\frac{\partial U}{\partial \rho_2} + p'' = P + U.$$

Die Verwandlungsglieder der Differentialgesetze müssen nach Multiplikation mit den Energiefaktoren zusammengenommen sich aufheben. Hieraus folgt die Bedingung:

223) $$\left(\frac{\partial U}{\partial \rho_{12}} - \frac{\partial U}{\partial \rho_1}\right) f_1 + \left(\frac{\partial U}{\partial \rho_{21}} - \frac{\partial U}{\partial \rho_2}\right) f_2 + f = 0$$

140. Bei der Bildung der Entropiegleichung müssen die Differentialgesetze, beziehungsweise mit den Entropiefaktoren

$$\frac{\partial S}{\partial \rho_{12}}, \quad \frac{\partial S}{\partial \rho_{21}}, \quad \frac{\partial S}{\partial \rho_1}, \quad \frac{\partial S}{\partial \rho_2}, \quad \frac{1}{T} \quad \text{und} \quad 0$$

multipliziert und addiert werden. Es muß

224) $$\frac{1}{T}\frac{\partial U}{\partial T} = \frac{\partial S}{\partial T}$$

sein. Die Fluxionsglieder ergeben hiebei die totale Fluxion der Entropie S. Die Deformationsglieder müssen den Wert S div $\mathfrak{v}$ ergeben, welcher diese totale Fluxion zu der materiellen Fluxion ergänzt. Dies gibt die Bedingung:

225) $$\rho_{12}\frac{\partial S}{\partial \rho_{12}} + \rho_{21}\frac{\partial S}{\partial \rho_{21}} + \rho_1\frac{\partial S}{\partial \rho_1} + \rho_2\frac{\partial S}{\partial \rho_2} + \frac{p''}{T} = S.$$

Die Verwandlungsglieder müssen sich kompensieren oder einen wesentlich positiven Wert ergeben. Dies fordert:

226) $$\left(\frac{\partial S}{\partial \rho_{12}} - \frac{\partial S}{\partial \rho_1}\right) f_1 + \left(\frac{\partial S}{\partial \rho_{21}} - \frac{\partial S}{\partial \rho_2}\right) f_2 + \frac{f}{T} = -J_1^2.$$

Hierin ist J_1^2 eine positive Entropieproduktion, zu welcher noch die Entropieproduktion $\lambda\,(\nabla T)^2/T$ bei der Wärmeleitung kommt.

Man kann aus diesen vier Bedingungsgleichungen zunächst die unbekannten Funktionen f und p'' der Wärmegleichung eliminieren, indem man (225) und (226) mit $-T$ multipliziert und zu (222) und 223) addiert. Hierdurch treten die Funktionen:

227) $$z_{12} = \frac{\partial U}{\partial \rho_{12}} - T\frac{\partial S}{\partial \rho_{12}}, \qquad z_{21} = \frac{\partial U}{\partial \rho_{21}} - T\frac{\partial S}{\partial \rho_{21}}$$
$$z_1 = \frac{\partial U}{\partial \rho_1} - T\frac{\partial S}{\partial \rho_1}, \qquad z_2 = \frac{\partial U}{\partial \rho_2} - T\frac{\partial S}{\partial \rho_2}$$

auf, welche man die **thermodynamischen Potentiale** der vier Stoffe mit den Dichten ρ_1, ρ_{12}, ρ_2 und ρ_{21} nennen kann und die Bedingungsgleichungen reduzieren sich auf:

228) $$\rho_{12} z_{12} + \rho_{21} z_{21} + \rho_1 z_1 + \rho_2 z_2 = P + U - TS$$

229) $$(z_{12} - z_1)\, f_1 + (z_{21} - z_2)\, f_2 = TJ^2.$$

Aus der Definition 227) der thermodynamischen Potentiale folgt

230) $$dS = \frac{1}{T}(dU - (z_{12}\, d\rho_{12} + z_{21}\, d\rho_{21} + z_1\, d\rho_1 + z_2\, d\rho_2)).$$

Es ist besonders durch die Untersuchungen von Helmholtz und Gibbs bekannt, daß die Differenzen (beziehungsweise Gradienten) der thermodynamischen Potentiale das Gleichgewicht aneinandergrenzender Phasen einer Mischung, die Diffusion, die kontaktelektromotorischen Kräfte usw. bestimmen. Hiernach hat das thermodynamische Potential z_i eines Stoffes eine analoge und gleich wichtige Bedeutung wie der Partialdruck P_i desselben. Beide Variable z_i und P_i sind zwar keine realen physikalischen Variablen, das heißt ihre Fluxion tritt nicht in den Differentialgesetzen auf, wohl aber ihre räumliche Derivation (ihr Gradient).

141. Um das thermochemische Gleichungssystem $VI_i\ V_s$ in einfachster Weise auf das Energieprinzip und Entropieprinzip abzustimmen,[1] führen wir statt der realen Variablen ρ_{12}, ρ_{21}, ρ_1 und ρ_2 vier neue voneinander unabhängige Variable ein, welche in folgender Weise definiert sind:

231) $$\hat{\rho} = \tfrac{1}{2}\left(\frac{\rho_{12}}{A_1} - \frac{\rho_{21}}{A_2}\right), \qquad \hat{\rho} = \tfrac{1}{2}\left(\frac{\rho_{12}}{A_1} + \frac{\rho_{21}}{A_2}\right)$$
$$\hat{\rho}_1 = \frac{\rho_1}{A_1} + \hat{\rho}, \quad \hat{\rho}_2 = \frac{\rho_2}{A_2} - \hat{\rho}.$$

Die Bedeutung dieser Variablen ist leicht ersichtlich. Vor allem stellt $\hat{\rho}$ die Abweichung von dem normalen Zusammensetzungsverhältnis der Verbindung dar. Im Ruhestande ist $\hat{\rho} = 0$ oder $\rho_{12}/A_1 = \rho_{21}/A_2$ bei allen Störungen des chemischen Gleichgewichtes und bei allen später zu berücksichtigenden elektrolytischen Veränderungen und Diffusionsvorgängen ist aber $\hat{\rho}$ von Null verschieden und eine wichtige von den anderen realen Variablen unabhängige Variable meiner Theorie, welche sich eben dadurch von der klassischen Theorie unterscheidet, nach welcher $\hat{\rho}$ stets gleich Null angenommen wird. $\hat{\rho}$ stellt eine Variable dar, welche im allgemeinen Falle an Stelle der Äquivalentkonzentration des Verbindungsproduktes tritt. $\hat{\rho}_1$ und $\hat{\rho}_2$ sind jene Funktionen, welche in dem Guldberg-Waage'schen Gliede meiner Differentialgesetze VI_{12} und VI_{21} an die Stelle von ρ_1 und ρ_2 treten, und welche mit diesen Äquivalentkonzentrationen der freien Anteile der Elemente zusammenfallen, wenn $\hat{\rho}$ verschwindet. Wir gewinnen aus dem System der Dichtegleichungen VI_i leicht folgendes System von Differentialgesetzen für die neuen Variablen:

$\widehat{VI}$) $$\frac{\partial \hat{\rho}}{\partial t} - K \hat{\rho}_1^{\alpha_1} \hat{\rho}_2^{\alpha_2} + (c+s)\,\hat{\rho} = 0$$

$\dot{VI}$) $$\frac{\partial \hat{\rho}}{\partial t} + (c-s)\,\hat{\rho} = 0$$

$\widehat{VI}_1$) $$\frac{\partial \hat{\rho}_1}{\partial t} + K \hat{\rho}_1^{\alpha_1} \hat{\rho}_2^{\alpha_2} - (c+s)\,\hat{\rho} = 0$$

$\widehat{VI}_2$) $$\frac{\partial \hat{\rho}_2}{\partial t} + K \hat{\rho}_1^{\alpha_1} \hat{\rho}_2^{\alpha_2} - (c+s)\,\hat{\rho} = 0$$

---

[1] Lohr (Entropieprinzip und geschlossenes Gleichungssystem, diese Denkschr., Bd. 93, p. 361 ff [1916]) ist es nicht gelungen, einen Fortschritt in dieser Richtung zu erzielen. Er verzichtet darauf, die eigentlichen für meine Theorie charakteristischen Verbindungs- und Zersetzungsvorgänge, während welcher das gewichtsprozentische Verhältnis der Elemente variabel ist mit dem Entropieprinzip in Übereinstimmung zu bringen.

Es wurden dabei der Einfachheit wegen folgende Verfügungen über die Materialkonstanten getroffen: $\mathfrak{f}_1 = A_1$, $\mathfrak{f}_2 = A_2$, $c_{12} = c_{21} = c$ und $(A_1/A_2)\ s_{12} = (A_2/A_1)\ s_{21} = s$.

Allerdings gehen zufolge dieser Annahmen die rein chemischen Oszillationen verloren, woran aber wenig liegt. Nach Gleichung $\overset{\triangle}{\mathrm{VI}}$) erfolgt die Ausgleichung der Abweichungen $\widehat{\rho}$ vom normalen Zusammensetzungsverhältnis nach jeder Störung des chemischen Gleichgewichtes aperiodisch Es muß $c > s$ sein und man kann auch $s = 0$ setzen. Man erkennt die Ähnlichkeit der Gleichungen $\widehat{\mathrm{VI}}$), $\widehat{\mathrm{VI}_1}$) und $\widehat{\mathrm{VI}_2}$) mit dem Differentialgesetz der Reaktionsgeschwindigkeit der klassischen Theorie. Man ersieht hieraus, daß die innere Energie U die Entropie S, der Druck P und die thermodynamischen Potentiale z_i nicht einfache Funktionen der Variablen ρ_{12}, ρ_{21}, ρ_1 und ρ_2 sind, sondern daß sie einfache Funktionen der Variablen $\hat{\rho}, \widehat{\rho}, \hat{\rho}_1$ und $\hat{\rho}_2$ sind, und daß sie ebenso von diesen neuen Variablen abhängen wie in der klassischen Theorie von ρ_{12}, ρ_1 und ρ_2, außerdem werden diese Funktionen aber noch Glieder enthalten, welche von $\widehat{\rho}$ abhängen und für welche es kein Vorbild in der klassischen Theorie gibt. Es ist im einfachsten Falle:

233) $$U = u\,\hat{\rho} + u_1\,\hat{\rho}_1 + u_2\,\hat{\rho}_2 + (C\,\hat{\rho} + C_1\,\hat{\rho}_1 + C_2\,\hat{\rho}_2)\,T + \widehat{\rho}^2\,F_1\,(T)$$

234) $$S = (C\,\hat{\rho} + C_1\,\hat{\rho}_1 + C_2\,\hat{\rho}_2)\log T - R\hat{\rho}\log\hat{\rho} - R_1\,\hat{\rho}_1\log\hat{\rho}_1 - R_2\,\hat{\rho}_2\log\hat{\rho}_2 + \widehat{\rho}^2\,F_2\,(T)$$

235) $$P = (R\,\hat{\rho} + R_1\,\hat{\rho}_1 + R_2\,\hat{\rho}_2)\,T - \widehat{\rho}^2\,(T\,F_2\,(T) - F_1\,(T)).$$

Sämtliche Koeffizienten dieser Funktionen sind im einfachsten Falle positive reine Konstante. Die Beziehung (224) fordert, daß

236) $$\frac{\partial F_2}{\partial T} = \frac{1}{T}\,\frac{\partial F_1}{\partial T}.$$

Es folgt aus (233) und (235) nach den Definitionen (227)

237) $$\hat{z} = \frac{\partial U}{\partial\hat{\rho}} - T\,\frac{\partial S}{\partial\hat{\rho}} = \hat{z}' + R\,T\log\hat{\rho}$$
$$\hat{z}_1 = \frac{\partial U}{\partial\hat{\rho}_1} - T\,\frac{\partial S}{\partial\hat{\rho}_1} = \hat{z}_1' + R_1 T\log\hat{\rho}_1$$
$$\hat{z}_2 = \frac{\partial U}{\partial\hat{\rho}_2} - T\,\frac{\partial S}{\partial\hat{\rho}_2} = \hat{z}_2' + R_2 T\log\hat{\rho}_2$$

worin:

$$\hat{z}' = u + C\,T\,(1 - \log T) + R\,T$$
$$\hat{z}_1' = u_1 + C_1 T\,(1 - \log T) + R_1 T$$
$$\hat{z}_2' = u_2 + C_2 T\,(1 - \log T) + R_2 T.$$ Ferner folgt:

238) $$\widehat{z} = \frac{\partial U}{\partial\widehat{\rho}} - T\,\frac{\partial S}{\partial\widehat{\rho}} = -2\,\widehat{\rho}\,(T\,F_2\,(T) - F_1\,(T))$$

und es muß gefordert werden, daß

239) $$T\,F_2\,(T) - F_1\,(T) > 0.$$

Es ist zu bemerken, daß man allgemeiner in (233) (234) und (235) statt $\widehat{\rho}^2$ irgendeine Funktion $\varphi\,(\widehat{\rho})$ setzen kann, welche die Bedingung erfüllt:

$$\widehat{\rho}\,d\varphi/d\widehat{\rho} > 0.$$

Die Bedingungen (236) und (239) können zum Beispiel am einfachsten erfüllt werden durch $F_1\,(T) = \mathfrak{f}\,T^2$, $F_2\,(T) = 2\mathfrak{f}T$, $\mathfrak{f} > 0$. Die Bedingung (228) lautet nun:

240) $$\hat{\rho}\,\hat{z} + \hat{\rho}_1\,\hat{z}_1 + \hat{\rho}_2\,\hat{z}_2 + \widehat{z}\,\widehat{\rho} = U + P - TS$$

und ist erfüllt. Die Bedingung (229) lautet jetzt:

$$241)\qquad \left(-\frac{\hat{z}}{T}+\frac{\hat{z}_1}{T}+\frac{\hat{z}_2}{T}\right)\left(K\hat{\rho}_1^{\alpha_1}\hat{\rho}_2^{\alpha_2}-(c+s)\hat{\rho}\right)-\frac{\hat{z}}{T}(c-s)\hat{\rho}>0$$

und ist erfüllt, wenn

$$242)\qquad R\log\frac{K}{c+s}=-\frac{\hat{z}'}{T}+\frac{\hat{z}_1'}{T}+\frac{\hat{z}_2'}{T}\quad\text{und wenn}\quad 243)\ \alpha_1=\frac{R_1}{R},\quad \alpha_2=\frac{R_2}{R}.$$

Damit ist das Problem gelöst. Es bleibt nur noch übrig, die Funktionen p'' und f der Wärmegleichung V_s) aus den Bedingungen (222) und (223) zu berechnen. Es ergibt sich:

$$p''=P+U-\hat{\rho}\frac{\partial U}{\partial\hat{\rho}}-\hat{\rho}_1\frac{\partial U}{\partial\hat{\rho}_1}-\hat{\rho}_2\frac{\partial U}{\partial\hat{\rho}_2}-\hat{\rho}\frac{\partial U}{\partial\hat{\rho}}\ \text{oder}$$

$$p''=(R\hat{\rho}+R_1\hat{\rho}_1+R_2\hat{\rho}_2)T-\hat{\rho}^2\,T F_2(T),\ \text{und ferner}$$

$$f=\left(\frac{\partial U}{\partial\hat{\rho}}-\frac{\partial U}{\partial\hat{\rho}_1}-\frac{\partial U}{\partial\hat{\rho}_2}\right)\left(K\hat{\rho}_1^{\alpha_1}\hat{\rho}_2^{\alpha_2}-(c+s)\hat{\rho}\right)-\frac{\partial U}{\partial\hat{\rho}}(c-s)\hat{\rho}$$

oder:

$$f=(u-u_1-u_2+(C-C_1-C_2)T)\left(K\hat{\rho}_1^{\alpha_1}\hat{\rho}_2^{\alpha_2}-(c+s)\hat{\rho}\right)-2\hat{\rho}^2F_1(T).$$

Wir kehren nun für das Folgende wieder zu dem System der realen Varialen ρ_1, ρ_2, ρ_{12} und ρ_{21} zurück, indem wir die Hilfsvariablen $\hat{\rho}_1$, $\hat{\rho}_2$, $\hat{\rho}$ und $\hat{\rho}$ in den Funktionen $USpzp''$ und f nach (231) durch die realen Variablen ersetzt denken.

21. Entwurf einer Theorie der chemischen und photochemischen Erscheinungen.

142. Die Differentialgesetze VI_i beschreiben nur die Dichteänderungen, welche bei dem chemischen Vorgang stattfinden, nicht aber diesen selbst. Das wesentliche eines chemischen Vorganges ist die Transmutation der Stoffe, das ist die Veränderung der Materialkonstanten desselben, das sind Koeffizienten der Glieder der physikalischen Differentialgesetze, welche bei vielen physikalischen Vorgängen, aber nicht bei den chemischen Vorgängen als reine Konstante angesehen werden können. Die Materialkonstanten müssen Funktionen besonderer von uns bisher nicht betrachteter realer Variablen χ sein, welche wir als chemische Zustandsvariable bezeichnen und welche den chemischen Zustand eines Stoffes, ja vielleicht den Stoff selbst, ausreichend charakterisieren. Wir bleiben bei der ersteren, weniger weitgehenden Annahme stehen und betrachten die chemischen Zustände χ_1 und χ_2 der Elemente 1 und 2 in freiem Zustande als gegebene Konstante. Die chemischen Zustände χ_{12}, beziehungsweise χ_{21} der gebundenen Anteile der beiden Elemente betrachten wir aber als unabhängige reale Variable. deren Anfangswerte beliebig gegeben sein können und deren Fluxionen durch besondere Differentialgesetze bestimmt werden, welche die allgemeine Form:

$$VII_{12})\qquad \frac{d\chi_{12}}{dt}+p_{12}\,\mathrm{div}\,\mathfrak{v}+F_{12}=0$$

$$VII_{21})\qquad \frac{d\chi_{21}}{dt}+p_{21}\,\mathrm{div}\,\mathfrak{v}+F_{21}=0$$

haben müssen und welche an das thermochemische Gleichungssystem V_s VI_i energetisch und entropisch angeschlossen werden müssen. Die innere Energie U und die Entropie S werden auch von χ_{12} und χ_{21} abhängen. Wir definieren die zu diesen Variablen gehörigen thermodynamischen Potentiale durch

$$244)\qquad Z_{12}=\frac{\partial U}{\partial\chi_{12}}-T\frac{\partial S}{\partial\chi_{12}},\qquad Z_{21}=\frac{\partial U}{\partial\chi_{21}}-T\frac{\partial S}{\partial\chi_{21}}.$$

Damit die Bedingung (229) unverändert bleibt, müßten die Verwandlungsglieder F_{12} und F_{21} für sich die Bedingung erfüllen

245) $$Z_{12} F_{12} + Z_{21} F_{21} \gtreqless 0$$

Im übrigen wird der Druck P durch die Bedingung (228) bestimmt, zu welcher jetzt noch die Glieder $Z_{12}\, p_{12} + Z_{21}\, p_{21}$ treten, ebenso werden die Bedingungsgleichungen (222), beziehungsweise (223) durch die Glieder $p_{12} \frac{\partial U}{\partial \chi_{12}} + p_{21} \frac{\partial U}{\partial \chi_{12}}$ beziehungsweise $F_{12} \frac{\partial U}{\partial \chi_{12}} + F_{21} \frac{\partial U}{\partial \chi_{21}}$ erweitert und ergeben dann geänderte Werte der Funktionen p'' und f der Wärmegleichung V_s. Die Verwandlungsglieder F_{12} und F_{21} der chemischen Gleichungen VII müssen die allgemeine Form haben:

246) $$F_{12} = F_{12}(a_{12}) \text{ worin } a_{12} = \chi_{12} - \varphi_{12}\left(\frac{\rho_{21}}{\rho_{12}}\right)$$
$$F_{21} = F_{21}(a_{21}) \quad \text{worin} \quad a_{21} = \chi_{21} - \varphi_{21}\left(\frac{\rho_{12}}{\rho_{21}}\right)$$

und müssen mit ihren Argumenten a_{12}, beziehungsweise a_{21} wachsen, abnehmen und verschwinden;

$$dF_{12}/da_{12} > 0, \quad dF_{21}/da_{21} > 0, \quad F_{12}\,(0) = 0, \quad F_{21}\,(0) = 0.$$

Dann wirken die Verwandlungsglieder F_{12} und F_{21} als Dämpfungsglieder auf die Annäherung an Gleichgewichtszustände hin, in welchen sie Null sind. Die variablen chemischen Zustände χ_{12} und χ_{21} der gebundenen Anteile ρ_{12} und ρ_{21} der Komponenten 1 und 2 werden nach (246) und nach VII_{12} VII_{21} durch das bei raschen chemischen Vorgängen variable Zusammensetzungsverhältnis ρ_{12}/ρ_{21} des Verbindungsproduktes bestimmt. Im Gleichgewichtsfalle müssen die statisch verbundenen Elemente physikalisch gleichartig sein, es muß also im Ruhefalle $\chi_{12} = \chi_{21}$ sein. Dies erlegt den Funktionen φ_{12} und φ_{21} die Bedingung auf:

247) $$\varphi_{12}\,(A_2/A_1) = \varphi_{21}\,(A_1/A_2).$$

Um die Kontinuität der Änderung der Materialeigenschaften einer Komponente bei allmählichem Zusatz geringer Mengen der zweiten Komponente zu sichern, wird man ferner verlangen wollen, daß:

248) $$\varphi_{12}\,(0) = \chi_1 \quad \text{und} \quad \varphi_{21}\,(0) = \chi_2$$

ist. In dem einfachsten Falle könnte

$$F_{12} = (\rho_{12} + \rho_{21})\,\chi_{12} - \rho_{12}\,\chi_1 - \frac{A_1\,\rho_{21}^2}{A_2\,\rho_{12}}\,\chi_2 \qquad \text{und } F_{21} = (\rho_{21} + \rho_{12})\,\chi_{21} - \rho_{21}\,\chi_2 - \frac{A_2\,\rho_{12}^2}{A_1\,\rho_{21}}\,\chi_1$$

sein. In diesem Falle wäre allerdings $\varphi_{12}(\infty) = \infty$ und $\varphi_{21}(\infty) = \infty$.

143. Die photochemischen Erscheinungen bestehen in einer Verwandlung elektromagnetischer Strahlungsenergie in chemische Energie statt in Wärme. Es muß daher die irreversible Energieproduktion:

$$Q_2 = \sum_i (c_i\, \bar{\sigma}_i : \bar{\sigma}_i + x_i\, \bar{\tau}_i : \bar{\tau}_i + (r_i + s_i)\, \bar{\sigma}_i : \bar{\tau}_i),$$

welche zufolge der Absorption elektromagnetischer Strahlen, aber auch zufolge der Zähigkeit des Mediums bei raschen Deformationen auftritt, nur zu dem echten Bruchteile q in der Wärmegleichung V_s, zu dem restlichen Bruchteile $(1-q)$ aber in den chemischen Differentialgesetzen VI_i kompensiert sein. Dann entsteht als Äquivalent für den Verlust von Strahlungsenergie bei der Absorption neben der Absorptionswärme $q\,Q_2$ auch chemische Energie, und zwar pro Volums- und Zeiteinheit im Betrage:

$$(1-q)\,Q_2 = \left(\frac{\partial U}{\partial \rho_1} - \frac{\partial U}{\partial \rho_{12}}\right)\frac{\delta \rho_1}{\delta t} + \left(\frac{\partial U}{\partial \rho_2} - \frac{\partial U}{\partial \rho_{21}}\right)\frac{\delta \rho_2}{\delta t}.$$

Das Verwandlungsglied der Wärmegleichung V_s erhält dann die Form:

zu V_s) $$(f) = f - q\,Q_2 \quad \text{statt } f.$$

Die Verwandlungsglieder der chemischen Differentialgesetze erhalten die Form:

zu VI_{12}) $$(f_1) = f_1 + \mathfrak{k}_1 X = -\mathfrak{k}_1 (K \hat{\rho}_1^{\alpha_1} \hat{\rho}_2^{\alpha_2} - X) + c_{12}\,\rho_{12} + s_{21}\,\rho_{21}$$

zu VI_{12}) $$(f_2) = f_2 + \mathfrak{k}_2 X = -\mathfrak{k}_2 (K \hat{\rho}_2^{\alpha_2} \hat{\rho}_1^{\alpha_1} - X) + c_{21}\,\rho_{21} + s_{12}\,\rho_{12}$$

zu VI_1) $$-(f_1) = -f_1 - \mathfrak{k}_1 X$$

zu VI_2) $$-(f_2) = -f_2 - \mathfrak{k}_2 X,$$

worin $$X = \frac{(1-q)\,Q_2}{\mathfrak{k}_1 (\partial U/\partial \rho_1 - \partial U/\partial \rho_{12}) + \mathfrak{k}_2 (\partial U/\partial \rho_2 - \partial U/\partial \rho_{21})}.$$

Allerdings muß dann in der thermodynamischen Bedingungsgleichung (229) (f_1), beziehungsweise (f_2) an die Stelle von f_1, beziehungsweise f_2 treten.

Im Falle stationärer Durchleuchtung des Mediums kann ein geänderter stationärer photochemischer Dissoziationszustand desselben eintreten, in welchem nach VI_{12}

$$\partial \rho_{12}/\partial t = \mathfrak{k}_1 (K \hat{\rho}_1^{\alpha_1} \hat{\rho}_2^{\alpha_2} - X) - c_{12}\,\rho_{12} - c_{21}\,\rho_{21} = 0$$

ist, während diesem verwandelt sich die absorbierte Strahlungsenergie nur in Wärme. Man ersieht hieraus, daß X also $(1-q)$ gleichzeitig mit ρ_{12} und ρ_{21} verschwinden muß, daß also die chemische Absorption des Lichtes von dem Verbindungsprodukte und nicht von den freien Anteilen ρ_1 ρ_2 der Elemente ausgeübt wird.

22. Theorie der Elektrolyse.

144. Die chemischen Differentialgesetze $VI_\varkappa$ sind ebenso wie die stofflichen Differentialgesetze III_i IV_i und die Wärmegleichung V_s direkt an das elektrische Differentialgesetz I gekoppelt, und zwar durch räumliche Derivationen des elektrischen Feldes, welche in ihnen auftreten und welchen in dem elektrischen Differentialgesetz räumliche Derivationen der chemischen und stofflichen Variablen energetisch entsprechen. Das in sich geschlossene Gleichungssysten, welches die rein chemischen, thermochemischen und elektrochemischen Erscheinungen darstellt, umfaßt außer der Bewegungsgleichung O) und den chemischen Schlußgleichungen VII_{12} VII_{21}, welche wir hier nicht anschreiben, folgende Differentialgesetze:

I) $$\varepsilon \frac{d\mathfrak{e}}{dt} + \tfrac{1}{2} \frac{d\varepsilon}{dt}\,\mathfrak{e} + \gamma\,\mathfrak{e} + \sum_\varkappa \varphi_\varkappa \nabla (v'_\varkappa + v''_\varkappa) = c_0 \text{ rot } \mathfrak{m}$$

VI_{12}) $$\frac{d\rho_{12}}{dt} + \rho_{12} \operatorname{div} \mathfrak{v} + v_{12} \operatorname{div} \varphi_{12}\,\mathfrak{e} + f_1 = 0$$

VI_{21}) $$\frac{d\rho_{21}}{dt} + \rho_{21} \operatorname{div} \mathfrak{v} + v_{21} \operatorname{div} \varphi_{21}\,\mathfrak{e} + f_2 = 0$$

VI_1) $$\frac{d\rho_1}{dt} + \rho_1 \operatorname{div} \mathfrak{v} + v_1 \operatorname{div} \varphi_1\,\mathfrak{e} - f_1 = 0$$

VI_2) $$\frac{d\rho_2}{dt} + \rho_2 \operatorname{div} \mathfrak{v} + v_2 \operatorname{div} \varphi_2\,\mathfrak{e} - f_2 = 0$$

V_s) $$C \frac{dT}{dt} + p'' \operatorname{div} \mathfrak{v} + \sum_\varkappa v''_\varkappa \operatorname{div} \varphi_\varkappa\,\mathfrak{e} + f - \lambda (\nabla T)^2 = T \operatorname{div} \lambda \nabla T$$

$\varkappa = 1, 2, 12, 21$. Die neu eingeführten Glieder müssen nach Multiplikation mit den Energiefaktoren (§ 139) dieser Gleichungen zusammengenommen die Divergenz von Energieflüssen ergeben. Es ist dies der thermoelektrische Energiefluß

$$\mathfrak{s}'' = \sum_{\varkappa} \varphi_\varkappa v''_\varkappa \mathfrak{e} \text{ und der elektrochemische Energiefluß } \mathfrak{s}' = \sum_{\varkappa} \varphi_\varkappa v_\varkappa \frac{\partial U}{\partial \rho_\varkappa} \mathfrak{e}$$

und das Energieprinzip fordert daher, daß

249) $$v'_\varkappa = v_\varkappa \frac{\partial U}{\partial \rho_\varkappa} \qquad (\varkappa = 1, 2, 12, 21).$$

Die neu eingeführten Glieder müssen ferner nach Multiplikation mit den Entropiefaktoren:

$$0, \quad \frac{\partial S}{\partial \rho_{12}}, \quad \frac{\partial S}{\partial \rho_{21}}, \quad \frac{\partial S}{\partial \rho_1}, \quad \frac{\partial S}{\partial \rho_2} \text{ und } \frac{1}{T}$$

dieser Differentialgesetze zusammengenommen die Divergenz eines Entropieflusses ergeben. Der ganze Entropiefluß hat den Wert

$$\mathfrak{S} = -\lambda \nabla T + \sum_{\varkappa} G_\varkappa \varphi_\varkappa \mathfrak{e},$$

worin die $G_\varkappa$ reine Konstante sind, beziehungsweise von χ_1 und χ_2 abhängen, und das Entropieprinzip fordert daher, daß

250) $$\frac{1}{T} v''_\varkappa = G_\varkappa - v_\varkappa \frac{\partial S}{\partial \rho_\varkappa} \qquad (\varkappa = 1, 2, 12, 21).$$

Durch die Bedingungen (249) und (250) ist die elektromotorische Kraft im quasistatischen Feld ausgewertet:

251) $$\mathfrak{e}' = -\frac{1}{\gamma} \sum_{\varkappa} \varphi_\varkappa \nabla (v'_\varkappa + v''_\varkappa) = -\frac{1}{\gamma} \sum \varphi_\varkappa \nabla (v_\varkappa z_\varkappa + G_\varkappa T).$$

Durch das Zusammenwirken der Forderungen des Energieprinzips und des Entropieprinzips treten also auch in dieser Beziehung die thermodynamischen Potentiale z_1 z_2 z_{12} und z_{21} [siehe (227)] auf, deren Gradienten die elektromotorischen Kräfte bestimmen.

145. In Elektrolyten finden Ortsänderungen der Komponenten statt, auch wenn das Medium exakt ruht, und zwar unter der Wirkung des elektrischen Feldes. Die Gesamtdichten $\rho' = \rho_1 + \rho_{12}$ und $\rho'' = \rho_2 + \rho_{21}$ der beiden Komponenten erfüllen also die Kontinuitätsgleichungen (§ 137) im elektrischen Felde nicht. Jedoch muß in einem stofflich geschlossenen Raum das Raumintegral jeder der Dichten ρ' und ρ'' konstant sein, dies fordert das Prinzip der Erhaltung des Stoffes. Hieraus folgt daß alle Glieder, welche den Kontinuitätsgleichungen (§ 137) hinzugefügt werden, die Divergenz eines Feldvektors (Massenflux der Komponenten) bilden müssen, dessen Oberflächenintegral für die Oberfläche des stofflich geschlossenen Raumes verschwindet. Die elektrischen Derivationen der chemischen Differentialgesetze müssen deshalb die Bedingungen erfüllen:

252) $$\begin{aligned} v_{12} \operatorname{div} \varphi_{12} \mathfrak{e} + v_1 \operatorname{div} \varphi_1 \mathfrak{e} &= \operatorname{div} \rho' \bar{v}_1 \mathfrak{e} \\ v_{21} \operatorname{div} \varphi_{21} \mathfrak{e} + v_2 \operatorname{div} \varphi_2 \mathfrak{e} &= \operatorname{div} \rho' \bar{v}_2 \mathfrak{e} \end{aligned}$$

worin $\bar{v}_1$ und $\bar{v}_2$ Funktionen der Dichten ρ_1 ρ_2 ρ_{12} und ρ_{21} und der Temperatur sein können. Die kleine Abweichung von der Kontinuitätsgleichung, welche zufolge des Massentransportes im exakt ruhenden Medium bei der Elektrolyse und Diffusion stattfindet, hat auch besondere energetische Wirkungen. Es ist die materielle Fluxion $\delta\rho/\delta t$ der Gesamtdichte $\rho = \rho' + \rho''$ nicht Null und zufolgedessen fehlt in der Energiegleichung der Energiebetrag

253) zu V^*_s) $$\tfrac{1}{2} \mathfrak{v}^2 \frac{\delta \rho}{\delta t},$$

welcher den aus der Bewegungsgleichung O) stammenden Betrag $\mathfrak{v} \cdot \rho\, d\mathfrak{v}/dt$ zu der materiellen Fluxion $\delta(\frac{1}{2}\rho \mathfrak{v}^2)/\delta t$ der Bewegungsenergie ergänzt. Man könnte diesen Energiebetrag (253) aus der Bewegungsgleichung gewinnen, wenn man diese durch ein Glied von der Form $\frac{1}{2}\mathfrak{v}\, \delta\rho/\delta t$ vervollständigt, aber dies ist unzulässig, wenn man die hierdurch bewirkte kleine Abweichung von dem Gegenwirkungsprinzip nicht in den Kauf nehmen will. Man kann aber den Betrag (253) der anentropischen Gleichung V_s^*), § 121, hinzufügen. Bei dieser Gelegenheit sei darauf hingewiesen, daß das Prinzip der Erhaltung der elektrischen und magnetischen Ladungen bei Temperatur-, Dichte- und Deformationsänderungen des Feldmediums, wodurch dessen die elektrische und diamagnetische Konstante ε_0 und μ_0 geändert werden, fordert, daß man die elektromagnetischen Differentialgesetze I und II durch die analogen Glieder

zu I, beziehungsweise II) $$\frac{1}{2}\frac{d\varepsilon_0}{dt}\cdot\mathfrak{e}, \text{ beziehungsweise } \frac{1}{2}\frac{d\mu_0}{dt}\cdot\mathfrak{m}$$

vervollständigt. Die energetische Wirkung dieser neuen Glieder kann dadurch kompensiert werden, daß man der anentropischen Gleichung V_s^* die Glieder hinzufügt:

zu V_s^*) $$-\frac{1}{2}\mathfrak{e}\cdot\frac{d\varepsilon_0}{dt}\cdot\mathfrak{e}-\frac{1}{2}\mathfrak{m}\cdot\frac{d\mu_0}{dt}\cdot\mathfrak{m}.$$

146. Wir wollen im folgenden der Einfachheit wegen

254) $$\varphi_1 = \varphi_2 = 0$$

setzen, nehmen also (im direkten Gegensatz zu der Arrhenius'schen Theorie) an, daß die Elektrolyten in verdünnten Lösungen fast gar nicht dissoziiert sind[1] und daß die eventuell vorhandenen freien Anteile ρ_1 und ρ_2 der Ionen in elektrolytischer Beziehung sich indifferent verhalten. Die chemisch miteinander verbundenen Anteile ρ_{12} und ρ_{21} werden bei den langsam ablaufenden elektrolytischen Vorgängen stets mit hinreichender Annäherung im Verhältnis der Äquivalentgewichte stehen

255) $$\rho_{12}/\rho_{21} = A_1/A_2,$$

außerdem kann ein Überschuß der einen der beiden Komponenten im freien Zustand superponiert sein. Ferner nehmen wir an, daß

256) $v_{12} = v_{21} = 1.$ 257) $\varphi_{12} = \rho_{12}u_1, \quad \varphi_{21} = \rho_{21}u_2,$

worin u_1 und u_2 Funktionen der Materialeigenschaften, der Temperatur und der Dichten ρ_{12} und ρ_{21} sein können. Durch Addition der Differentialgesetze $VI_1 + VI_{12}$, beziehungsweise $VI_2 + VI_{21}$ ergibt sich dann:

258) $$\frac{\delta\rho'}{\delta t} + \operatorname{div}\, \rho_{12}u_1\mathfrak{e} = 0$$

259) $$\frac{\delta\rho''}{\delta t} + \operatorname{div}\, \rho_{21}u_2\mathfrak{e} = 0.$$

Da das Reaktionsgleichgewicht stets mit großer Annäherung vorhanden ist, kann man diese Gleichungen dahin deuten, daß die freien Anteile ρ_1 und ρ_2 keine elektrolytische Wanderung zeigen, die gebundenen Anteile ρ_{12} und ρ_{21} aber mit den Wanderungsgeschwindigkeiten $u_1\mathfrak{e}$, beziehungsweise $u_2\mathfrak{e}$ überführt werden. Die durch (258) und (259) bestimmten Dichteänderungen stehen im allgemeinen nicht in dem Verhältnis der Äquivalente A_1 und A_2. Hierdurch wird ein Überschuß der einen Komponente frei und gleichzeitig elektrolytisch indifferent. Dies ist die eigentliche Elektrolyse.

---

[1] Über die Natürlichkeit und Zulässigkeit dieser Annahme siehe G. Jaumann, Zur Theorie der Lösungen, Ann. d. Phys. Bd. 3. (1900) p. 613 ff.

Die pro Zeit- und Volumseinheit frei werdende Menge eines der Ionen, bezogen auf das Äquivalent als Masseneinheit, ist

260) $$\frac{1}{A_1}\frac{\partial\rho'}{\partial t}-\frac{1}{A_2}\cdot\frac{\partial\rho''}{\partial t}=\operatorname{div}\left(\frac{\rho_{21}}{A_2}u_2-\frac{\rho_{12}}{A_1}u_1\right)\mathfrak{e}.$$

An jenen Orten, an welchen diese Differenz positiv, beziehungsweise negativ ist, wird die Komponente 1 beziehungsweise 2 als Ion ausgeschieden. Da das Raumintegral dieser Divergenz in einem elektrisch abgeschlossenen Raume (an dessen Oberfläche u_1 und u_2 oder $\mathfrak{e}$ gleich Null ist) verschwindet, werden in diesem Raume im ganzen äquivalente Mengen der beiden Ionen an räumlich getrennten Orten ausgeschieden.

147. Die Elektrolyse tritt erfahrungsgemäß auch bei ungleichmäßiger Verteilung der Konzentration des Elektrolyten und im ungleichförmigen elektrischen Felde im Innern desselben nicht in merklichem Maße ein, sondern erst in den Übergangsschichten gegen angrenzende Medien anderer Art. Wir setzen zunächst voraus, daß die Inhomogenität der Dichte- und Temperaturverteilung in dem Elektrolyten eine derartige ist, daß keine inneren elektromotorischen Kräfte $\mathfrak{e}'$ auftreten, daß also $\nabla z_{12}=\nabla z_{21}=0$ und $\mathrm{G}_{12}=\mathrm{G}_{21}=0$ ist. Den allgemeinen Fall können wir erst weiter unten (§ 149) untersuchen. Falls auch keine raschen Änderungen der räumlichen Ladungen im Innern der Elektrolyten eintreten, ist

261) $$\operatorname{div}\gamma_0\,\mathfrak{e}=0.$$

Da im Innern dieses inhomogenen Elektrolyten keine Ausscheidung der Ionen stattfindet, muß nach (260) für $\nabla u_1=\nabla u_2=0$

262) $$\operatorname{div}\left(\frac{\rho_{21}}{A_2}u_2-\frac{\rho_{12}}{A_1}u_1\right)\mathfrak{e}=0.$$

Diese beiden Bedingungen (261) und (262) können im inhomogenen elektrischen Felde nur dann gleichzeitig erfüllt sein, wenn

263) $$\gamma_0=k\,\frac{\rho_{12}}{A_1}\,(u_2-u_1)$$

ist, worin k eine reine Konstante und $\rho_{12}/A_1=\rho_{21}/A_2$ die Äquivalentkonzentration des Elektrolyten ist. Es muß also die Äquivalentleitfähigkeit γ_0A_1/ρ_{12} in allen Elektrolyten durch die Differenz der Wanderungsgeschwindigkeiten (u_2-u_1) bestimmt sein.

In sehr verdünnten Lösungen binärer Verbindungen bestimmen sich aber alle Materialeigenschaften additiv aus zwei einzeln von je einem der Bestandteile (und außerdem von der Natur des Lösungsmittels und der Temperatur) abhängenden Materialkonstanten, welche gleiches Vorzeichen haben. Es muß also die Äquivalentleitfähigkeit auch in der Form

$$\gamma_0A_1/\rho_{12}=k\,(v+u)$$

darstellbar sein, worin u und v positive Konstante der beiden Komponenten sind. Hieraus folgt, daß (wenigstens in verdünnten Lösungen) die Wanderungsgeschwindigkeiten u_1 und u_2 entgegengesetzte Vorzeichen haben müssen

264) $$u_1=-u,\qquad u_2=+v,$$

daß also die Ionen im entgegengesetzen Sinne wandern müssen. Dann spricht die (weit allgemeiner gültige) Gleichung (263) speziell für verdünnte Lösungen das Kohlrausch'sche Gesetz aus.

148. Zerlegen wir den ganzen von der Elektrolyse eingenommenen Raum, in dessen Oberfläche also $u_1\,\mathfrak{e}=0$ und $u_2\,\mathfrak{e}=0$ ist, durch eine Fläche $\mathfrak{f}$, die am besten alle Stromlinien schneidet, in den Kathodenraum und Anodenraum, so wird nach der Gleichung (260) in dem Anodenraum φ pro Volums- und Zeiteinheit folgende Äquivalentmasse des Anions ausgeschieden:

265) $$\frac{1}{A_1}\int_\varphi d\varphi\,\frac{\partial\rho_1}{\partial t}=\int_\varphi d\varphi\left(\frac{1}{A_1}\cdot\frac{\partial\rho'}{\partial t}-\frac{1}{A_2}\frac{\partial\rho''}{\partial t}\right)=\int_\mathfrak{f} d\mathfrak{f}\cdot\frac{\rho_{12}}{A_1}(u_2-u_1)\,\mathfrak{e}=\frac{1}{k}\int_\mathfrak{f} d\mathfrak{f}\cdot\gamma_0\,\mathfrak{e}=\frac{1}{k}I.$$

Hierbei wurde Gleichung (263) verwendet. I ist die gesamte durch die Querschnittsfläche $\mathfrak{f}$ fließende Stromstärke. Gleichung (265) spricht das Faraday'sche Gesetz der Elektrolyse aus. Die universelle Konstante $1/k$ ist das elektrolytische Äquivalent. Nach den Gleichungen (258) und (259) können wir jedoch auch die Konzentrationsänderungen des Elektrolyten in dem Anoden-, beziehungsweise Kathodenraum berechnen. Da zum Beispiel in dem Anodenraum φ_1 nur das Anion 1 ausgeschieden wird, ist in diesem Raume $A_2 \,\delta \rho_{12}/\delta t = A_1 \,\delta \rho''/\delta t$, und daher nach (259) und (263)

$$\frac{1}{A_1}\int_{\varphi_1} d\varphi_1 \frac{\delta \rho_{12}}{\delta t} = -\int_{\mathfrak{f}} d\mathfrak{f}.\frac{\rho_{21}}{A_2} u_2 \mathfrak{e} = -\frac{1}{k}\int_{\mathfrak{f}} d\mathfrak{f}.\frac{u_2}{u_2 - u_1}\gamma_0 \mathfrak{e} = -\frac{1}{k}\frac{v}{u+v} I.$$

Ebenso ergibt sich für den Kathodenraum φ_2

$$\frac{1}{A_2}\int_{\varphi_2} d\varphi_2 \frac{\delta \rho_{21}}{dt} = \frac{1}{A_1}\int_{\varphi_2} d\varphi_2 \frac{\delta \rho'}{\delta t} = +\int_{\mathfrak{f}} d\mathfrak{f}.\frac{\rho_{12}}{A_1} u_1 \mathfrak{e} = \frac{1}{k}\int_{\mathfrak{f}} d\mathfrak{f}.\frac{u_1}{u_2 - u_1}\gamma_0 \mathfrak{e} = -\frac{1}{k}\frac{u}{u+v} I.$$

Die Werte
$$\frac{u_2}{u_2 - u_1} = \frac{v}{u+v} \text{ und } \frac{-u_1}{u_2 - u_1} = \frac{u}{u+v}$$
werden als die Hittorf'schen Überführungszahlen bezeichnet.

149. Die elektromotorische Kraft der Konzentrationsgefälle in verdünnten elektrolytischen Lösungen bestimmt sich nach (251) unter Berücksichtigung von (254), (256) und (257) in folgender Weise

266)
$$\mathfrak{e}' = -\frac{1}{\gamma_0}(\rho_{12} u_1 \nabla (z_{12} + G_{12} T) + \rho_{21} u_2 \nabla (z_{21} + G_{21} T)).$$

Da $\quad A_1 \rho_{21} = A_2 \rho_{12}$, so folgt $A_2 \dfrac{\partial U}{\partial \rho_{21}} = A_1 \dfrac{\partial U}{\partial \rho_{12}}$ und $A_2 \dfrac{\partial S}{\partial \rho_{21}} = A_1 \dfrac{\partial S}{\partial \rho_{12}}$ und daher

267)
$$A_2 z_{21} = A_1 z_{12}.$$

Die thermodynamischen Potentiale der Äquivalente der miteinander verbundenen Komponenten sind im quasistatischen Falle gleich. Ferner nehmen wir an, daß die arbiträren Konstanten G die Bedingung erfüllen $A_2 G_{21} = A_1 G_{12}$. In verdünnten elektrolytischen Lösungen bestimmen sich nach van t'Hoff alle thermodynamischen Funktionen ebenso durch Dichte und Temperatur wie in idealen Gasen. Es ist daher

$$z_{12} + G_{12} T = T\left(f(T) + \frac{R_0}{A_1}\log \rho_{12}\right),$$

worin
$$f(T) = \left(G_{12} + C\,(1 - \log T) + \frac{R_0}{A_1}\right)$$

und es folgt für die elektromotorischen Kräfte in inhomogenen verdünnten elektrolytischen Lösungen:

$$\mathfrak{e}' = -\frac{R_0}{k}\frac{1}{\gamma_0}\frac{\rho_{12}}{A_1}(u_1 + u_2)\nabla\left(T\left(\log \rho_{12} + \frac{A_1}{R_0} f(T)\right)\right)$$

Führt man den Wert der Leitfähigkeit γ_0 nach (263) ein und berücksichtigt (264), so ergibt sich

268)
$$\mathfrak{e}' = \frac{R_0}{k}\frac{u - v}{u + v}\nabla\left(T\left(\log \rho_{12} + \frac{A_1}{R_0} f(T)\right)\right).$$

Es ist dies der von Nernst aus der Elektronentheorie abgeleitete Wert. Insbesondere wurde das van t'Hoff'sche Gesetz dadurch weitgehend bestätigt, daß gerade in äußerst verdünnten Elektrolyten, in welchen $-\log \rho_{12}$ ungemein groß ist, enorm hohe elektromotorische Kräfte (bis zu 1000 Volt) auftreten.

VI. Wirkungen der Inhomogenität der räumlichen Verteilung der stofflichen und chemischen Variablen.

23. Theorie der Diffusion.

150. Die Diffusion ist ein bei inhomogener Verteilung der Dichte ρ_i einer Komponente einer Mischung oder bei inhomogener Verteilung der Temperatur (Thermodiffusion) eintretender Ausgleichsvorgang, welcher nur durch eine räumliche Derivation einer Funktion φ_i der Dichte ρ_i und der Temperatur, die in der Dichtegleichung VI_i) auftreten muß, bestimmt werden kann. Diese und die Wärmegleichung V_s haben im einfachsten Falle folgende Form:

VI_i)
$$\frac{d\rho_i}{dt} + \rho_i \operatorname{div} \mathfrak{v} = \operatorname{div} \bar{\alpha}_i \nabla \varphi_i$$

V_s)
$$\frac{\partial U}{\partial T}\frac{dT}{dt} + p'' \operatorname{div} \mathfrak{v} + f - \lambda (\nabla T)^2 = T \operatorname{div} \lambda \nabla T.$$

Das Energieprinzip legt den Koeffizienten folgende Bedingungen auf:

269) $P + U = \rho_i \dfrac{\partial U}{\partial \rho_i} + p''$, 270) $f = -\bar{\alpha}_i \nabla \varphi_i \cdot \nabla \dfrac{\partial U}{\partial \rho_i}$.

Der Energiefluß hat den Wert:

271)
$$\mathfrak{S}_i = -\lambda T \nabla T - \bar{\alpha}_i \frac{\partial U}{\partial \rho_i} \nabla \varphi_i.$$

Das Entropieprinzip legt den Koeffizienten folgende Bedingungen auf:

272)
$$\frac{p''}{T} = S - \rho_i \frac{\partial S}{\partial \rho_i}$$

273)
$$-\frac{f}{T} = \frac{\bar{\alpha}_1}{T} \nabla \varphi_i \cdot \nabla \frac{\partial U}{\partial \rho_i} = \bar{\alpha}_i \nabla \varphi_i \cdot \nabla \frac{\partial S}{\partial \rho_i} + J_i^2.$$

Nach (273) muß also

274)
$$\nabla \varphi_i \cdot \nabla \left(\frac{\partial U}{\partial \rho_i} - T \frac{\partial S}{\partial \rho_i}\right) = \nabla \varphi_i \cdot \nabla z_i > 0$$

sein. Es muß daher die Funktion φ_i ausschließlich von dem thermodynamischen Potentiale z^i abhängen und es muß

275)
$$d\varphi_i / dz_i > 0$$

sein. Zufolge dieses Zusammenwirkens der Forderungen des Energieprinzips und des Entropieprinzips bestimmen also die Gradienten der thermodynamischen Potentiale auch die Diffusionswirkungen. Dies wurde schon von Gibbs erkannt, von Lohr[1] zuerst in meine Theorie eingeführt

Der Entropiefluß hat den Wert:

276)
$$\mathfrak{S} = -\lambda \nabla T - \bar{\alpha}_i \frac{\partial S}{\partial \rho_i} \nabla \varphi_i.$$

Die Diffusion stellt in absolut ruhenden, ideal kontinuierlichen Medien (ebenso wie die Elektrolyse) eine Abweichung von der Kontinuitätsgleichung, eine Ortsänderung der Massen ohne Vermittlung einer Bewegung (ohne Geschwindigkeit) dar.

---

[1] E. Lohr, Entropieprinzip und geschlossenes Gleichungssystem. Denkschr. d. Wien. Akad., p. 390 (1916).

151. Die chemischen Differentialgesetze VI_i § 144 müssen also durch Hinzufügen der Diffusionsglieder vervollständigt werden und haben dann folgende Form:

$$VI_{12})\qquad \frac{\delta \rho_{12}}{\delta t} + \operatorname{div} u_1 \rho_{12} \mathfrak{e} + f_1 = \operatorname{div} \alpha_{12} \nabla z_{12}$$

$$VI_{21})\qquad \frac{\delta \rho_{21}}{\delta t} + \operatorname{div} u_2 \rho_{21} \mathfrak{e} + f_2 = \operatorname{div} \alpha_{21} \nabla z_{21}$$

$$VI_1)\qquad \frac{\delta \rho_1}{\delta t} - f_1 = \operatorname{div} \alpha_1 \nabla z_1$$

$$VI_2)\qquad \frac{\delta \rho_2}{\delta t} - f_2 = \operatorname{div} \alpha_2 \nabla z_2.$$

Die Diffusion der vier Stoffe ρ_1 ρ_2 ρ_{12} ρ_{21} erfolgt hiernach unabhängig, jedoch müssen die beiden Komponenten $\rho' = \rho_1 + \rho_{12}$ und $\rho'' = \rho_2 + \rho_{11}$ hierbei in jedem Raumteile in äquivalenten Mengen entstehen oder verschwinden. Dies gibt die Bedingung

$$277)\qquad \frac{1}{A_1} \frac{\delta \rho'}{\delta t} - \frac{1}{A_2} \frac{\delta \rho''}{\delta t} = 0.$$

Wir haben in § 147 unter der gleichen Voraussetzung geschlossen, daß für einen in bezug auf die thermodynamischen Potentiale z_i homogenen (wenn auch in bezug auf Dichte und Temperatur inhomogenen) Elektrolyten

$$278)\qquad \gamma_0 = k \frac{\rho_{12}}{A_1} (u_2 - u_1)$$

sein muß. Nun behandeln wir den allgemeinen Fall. Aus den Differentialgesetzen VI_i folgt:

$$279)\qquad \frac{1}{A_1} \frac{\delta \rho'}{\delta t} + \operatorname{div} \frac{\rho_{12}}{A_1} u_1 \mathfrak{e} = \operatorname{div} \frac{\alpha_{12}}{A_1} \nabla z_{12}$$

$$280)\qquad \frac{1}{A_2} \frac{\delta \rho''}{\delta t} + \operatorname{div} \frac{\rho_{21}}{A_2} u_2 \mathfrak{e} = \operatorname{div} \frac{\alpha_{21}}{A_2} \nabla z_{21}.$$

Hierbei haben wir der Übersichtlichkeit wegen von der Diffusion der freien Anteile ρ_1 und ρ_2 abgesehen, also $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$ gesetzt oder angenommen, daß keine merklichen Mengen derselben vorhanden sind. Durch Subtraktion von (279) und (280) folgt:

$$281)\qquad \frac{1}{A_1} \frac{\delta \rho'}{\delta t} - \frac{1}{A_2} \frac{\delta \rho''}{\delta t} = \operatorname{div} \left[\frac{\rho_{12}}{A_1} (u_2 - u_1) \mathfrak{e} - \left(\frac{\alpha_{21}}{A_2^2} - \frac{\alpha_{12}}{A_1^2} \right) A_1 \nabla z_{12} \right]$$

Falls keine raschen Ladungsänderungen eintreten und der Elektrolyt stromlos ist, so folgt nach (266) und (277)

$$282)\qquad \mathfrak{e} = \mathfrak{e}' = - \frac{A_1}{k} \frac{u_1 + u_2}{u_2 - u_1} \nabla z_{12},$$

wobei vorausgesetzt ist, daß $\nabla T = 0$ oder $G_{12} = G_{21} = 0$ ist.

Die Äquivalenzforderung (277) kann also nach (281) nur dann allgemein erfüllt sein, wenn

$$283)\qquad \frac{\alpha_{12}}{A_1^2} - \frac{\alpha_{21}}{A_2^2} = \frac{1}{k} \frac{\rho_{12}}{A_1} (u_1 + u_2).$$

Wenn die Diffusionskoeffizienten α_{12}, beziehungsweise α_{21} ebenso wie die elektrolytischen Wanderungskonstanten u_1, beziehungsweise u_2 einzeln je einer der Komponenten 1 und 2 eigentümlich sind, so muß nach (283)

284) $$\frac{\alpha_{12}}{A_1^2} = \frac{1}{k}\frac{\rho_{12}}{A_1}u_1, \quad \frac{\alpha_{21}}{A_2^2} = -\frac{1}{k}\frac{\rho_{21}}{A_2}u_2,$$

sein, wobei wir eine arbiträre additive universelle Konstante unterdrückt haben.

152. Durch Addition von (279) und (280) folgt die gesamte Konzentrationsänderung, welche der Elektrolyt zufolge der Diffusion pro Volums- und Zeiteinheit erfährt, und zwar ist:

285) $$\frac{1}{A_1}\frac{\delta\rho'}{\delta t} + \frac{1}{A_2}\frac{\delta\rho''}{\delta t} = -\operatorname{div}\left[\frac{\rho_{12}}{A_1}(u_2+u_1)\mathfrak{e} - \left(\frac{\alpha_{21}}{A_2^2} + \frac{\alpha_{12}}{A_1^2}\right)A_1\nabla z_{12}\right].$$

Falls keine raschen Ladungsänderungen eintreten, ist $\mathfrak{e} = \mathfrak{e}' + \frac{c_0}{\gamma_0}\operatorname{rot}\mathfrak{m}$. Setzt man die Werte von $\mathfrak{e}'$ und γ_0 nach (282) und (278) in (285) ein, so ergibt sich nach (284)

286) $$\frac{1}{A_1}\frac{\delta\rho'}{\delta t} + \frac{1}{A_2}\frac{\delta\rho''}{\delta t} = -\operatorname{div}\frac{c_0}{k}\frac{u_1+u_2}{u_2-u_1}\operatorname{rot}\mathfrak{m} + \operatorname{div}\frac{\rho_{12}}{k}\frac{4u_1u_2}{u_2-u_1}\nabla z_{12}.$$

Das erste Glied der rechten Seite stellt die Elektrolyse und die Hittorf'sche Überführung des Elektrolyten durch die Stromdichte $c_0 \operatorname{rot}\mathfrak{m}$ dar. Das zweite Glied stellt die vereinigte Wirkung der echten Diffusion und der elektrischen Wanderung, welche die gebundenen Anteile zufolge der inneren elektromotorischen Kräfte $\mathfrak{e}'$ ausführen, dar.

In verdünnten elektrolytischen Lösungen ist nach (264) $u_1 = -u$, $u_2 = v$. Es erhält also der Koeffizient der durch das zweite Glied von (286) dargestellten elektrolytischen Diffusion den Wert

288) $$\frac{\rho_{12}}{k}\frac{4u_1u_2}{u_2-u_1}\nabla z_{12} = -\frac{R_1T}{k}\frac{4uv}{u+v}\nabla\rho_{12},$$

wobei berücksichtigt wurde, daß für verdünnte Elektrolyten

289) $$\nabla z_{12} = R_1 T \nabla \log \rho_{12}.$$

Der Wert (288) stimmt numerisch vollständig mit dem von Nernst aus der Elektronenhypothese abgeleiteten Werte, hat aber das umgekehrte Vorzeichen. Da der Diffusionskoeffizient positiv sein muß, folgt nach meiner Theorie, daß die der Gaskonstanten analoge Konstante R_1 negativ sein muß. Es muß also nach meiner Theorie durch Erhöhung der Konzentration der Lösung bei exakt gleichbleibendem Volum eine Erniedrigung des Druckes und des thermodynamischen Potentials derselben eintreten, während nach der van t'Hoff-Nernst'schen Theorie das Umgekehrte eintreten soll.

Da die Folgerungen beider Theorien in bezug auf Elektrolyse und Diffusion gleich sind, ist eine Entscheidung nur durch die osmotischen Erscheinungen möglich und deren Sinn spricht meiner Ansicht nach unzweideutig dafür, daß die den Gaskonstanten analogen van t'Hoff'schen Konstanten R_i für gelöste kristalline Stoffe tatsächlich negativ sind, wie sogleich gezeigt werden soll.

153. Das osmotische Gleichgewicht stellt meiner Auffassung nach nur einen besonderen Fall des Diffusionsgleichgewichtes dar, bei welchem in den durch die semipermeable Membran getrennten, verschieden konzentrierten Lösungen der Gesamtdruck P nicht gleich ist. Die Gleichgewichtsbedingung kann also wohl keine andere sein, als daß das gesamte thermodynamische Potential auf beiden Seiten der semipermeablen Membran gleich ist.

Da nun im osmotischen Gleichgewicht auf der Seite der konzentrierteren Lösung der größere Druck P herrscht, das thermodynamische Potential des Lösungsmittels aber mit dem Drucke steigt, so muß das thermodynamische Potential des gelösten Stoffes negativ sein, damit die konzentriertere Lösung dasselbe gesamte thermodynamische Potential hat, wie die verdünntere Lösung auf der anderen Seite der semipermeablen Membran, obgleich ihr Druck höher ist.

154. Die Diffusionsglieder auf der rechten Seite der Differentialgesetze VI_i sind räumliche Derivationen zweiter Ordnung, dieselben müssen aus den in den §§ 102 und 121 angegebenen Gründen in zwei rotorisch-dyadische Derivationen zerlegt werden, die Dichtegleichungen VI_i erhalten hierdurch dyadische Form und es müssen die chemischen Schlußgleichungen VII_i zur Ergänzung dieser räumlichen Derivationen herangezogen werden.

Wir führen also zwei reale dyadische Variable ψ_{12} und ψ_{21} ein, deren Skalar die Dichten ρ_{12}, beziehungsweise ρ_{21} sind $\rho_{12} = (\psi_{12})_s$, $\rho_{21} = (\psi_{21})_s$. Die dyadische Form des chemischen Gleichungssystems hat folgenden Typus:

$$VI_{12}) \qquad \frac{d\psi_{12}}{dt} + \psi_{12} \operatorname{div} \mathfrak{v} + \nabla, u_1 \rho_{12} \mathfrak{e} + \tfrac{1}{3} f_1 I = \nabla \times a_1 \chi_{12}$$

$$VI_{21}) \qquad \frac{d\psi_{21}}{dt} + \psi_{21} \operatorname{div} \mathfrak{v} + \nabla, u_2 \rho_{21} \mathfrak{e} + \tfrac{1}{3} f_2 I = \nabla \times a_2 \chi_{21}$$

$$VII_{12}) \qquad \frac{d\chi_{12}}{dt} + p_{12} \operatorname{div} \mathfrak{v} + F_{12} = \nabla \times z_{12} I$$

$$VII_{21}) \qquad \frac{d\chi_{21}}{dt} + p_{21} \operatorname{div} \mathfrak{v} + F_{21} = \nabla \times z_{21} I$$

Die Wärmegleichung muß mit Rücksicht auf das Energie- und Entropieprinzip durch folgende Glieder vervollständigt werden:

$$\text{Zu } V_s) \qquad - a_1 k_1 (\chi_{12})_r^2 - a_2 k_2 (\chi_{21})_r^2 + T \frac{\partial S}{\partial \rho_{12}} \operatorname{div} a_1 (\chi_{12})_r + T \frac{\partial S}{\partial \rho_{21}} \operatorname{div} a_2 (\chi_{21})_r.$$

Von den Gleichungen VI_{12} interessiert uns hier nur der skalare Teil:

$$VI_{12})_s \qquad \frac{d\rho_{12}}{dt} + \rho_{12} \operatorname{div} \mathfrak{v} + \operatorname{div} u_1 \rho_{12} \mathfrak{e} + f_1 = \operatorname{div} a_1 (\chi_{12})_r$$

$$VI_{21})_s \qquad \frac{d\rho_{21}}{dt} + \rho_{21} \operatorname{div} \mathfrak{v} + \operatorname{div} u_2 \rho_{21} \mathfrak{e} + f_2 = \operatorname{div} a_2 (\chi_{21})_r$$

und daher von den Gleichungen VII_{12} nur der rotorische Teil:

$$VII_{12})_r \qquad \frac{d(\chi_{12})_r}{dt} + (F_{12})_r = \nabla z_{12}, \qquad VII_{21})_r \qquad \frac{d(\chi_{21})_r}{dt} + (F_{21})_r = \nabla z_{21}.$$

Es muß
$$(F_{12})_r = k_1 (\chi_{12})_r \quad \text{und} \quad (F_{21})_r = k_2 (\chi_{21})_r$$
sein, dann folgt für hinreichend langsame Veränderungen: $k_1 (\chi_{12})_r \doteq \nabla z_{12}$ und $k_2 (\chi_{21})_r \doteq \nabla z_{21}$ und haben nach $VI_{12})_s$ und $VI_{21})_s$ die Diffusionskoeffizienten die Werte

$$\alpha_{12} = a_1/k_1 \quad \text{und} \quad \alpha_{21} = a_2/k_2.$$

Bei der Bildung der Energiegleichung werden obige Differentialgesetze, beziehungsweise mit den Energiefaktoren:

$$\frac{\partial U}{\partial \rho_{12}} I:, \quad \frac{\partial U}{\partial \rho_{21}} I:, \quad \left(\frac{\partial U}{\partial (\chi_{12})_s} I - \frac{a_1}{2} (\chi_{12})_r \times I\right):, \quad \left(\frac{\partial U}{\partial (\chi_{21})_s} I - \frac{a_2}{2} (\chi_{21})_r \times I\right):$$

doppelt multipliziert. Die Fluxionsglieder ergeben dabei die totale Fluxion der inneren Energie, zu welcher jetzt folgende Beträge hinzukommen:

$$\text{zu } U) \qquad + \tfrac{1}{2} a_1 (\chi_{12})_r^2 + \tfrac{1}{2} a_2 (\chi_{21})_r^2$$

Es muß vorausgesetzt werden, daß die Koeffizienten a_1 und a_2 positive von der Temperatur unabhängige Koeffizienten sind, so daß die spezifische Wärme der Volumseinheit durch diese Verallgemeinerung nicht betroffen wird. Die neu hinzugekommenen rotorisch-dyadischen Derivationen der rechten Seite der Differentialgesetze geben folgende Beträge an die Energiegleichung ab:

$$-\frac{\partial U}{\partial \rho_{12}} \operatorname{div} a_1 (\chi_{12})_r - \frac{\partial U}{\partial \rho_{21}} \operatorname{div} a_2 (\chi_{21})_r - a_1 (\chi_{12})_r \cdot \nabla z_{12} - a_2 (\chi_{21})_r \cdot \nabla z_{21}.$$

Die Verwandlungsglieder $k_1 (\chi_{12})_r$ und $k_2 (\chi_{21})_r$ von $(\mathrm{VII}_{12})_r$ und $(\mathrm{VII}_{21})_r$ geben die Werte ab: $a_1 k_1 (\chi_{12})_r^2 + a_2 k_2 (\chi_{21})_r^2$, und die neuen Glieder, welche zu V_s) hinzugekommen sind, gehen unverändert in die Energiegleichung ein, und alle diese zu der Energiegleichung neu hinzutretenden Beträge geben zusammengenommen die Divergenz eines neuen Energieflusses

290) $$\mathfrak{s}_{12} = - a_1 z_{12} (\chi_{12})_r - a_2 z_{21} (\chi_{21})_r,$$

welchen man den Energiefluß der Diffusion nennen kann.

Die Entropiefaktoren der Differentialgesetze sind unverändert. Die rotorisch-dyadischen Derivationen der rechten Seiten derselben geben folgende Beträge an die Entropiegleichung ab:

$$-\frac{\partial S}{\partial \rho_{12}} \operatorname{div} a_1 (\chi_{12})_r - \frac{\partial S}{\partial \rho_{21}} \operatorname{div} a_2 (\chi_{21})_r.$$

Die neuen Glieder von V_s) geben die Beträge

$$-\frac{a_1}{T} k_1 (\chi_{12})_r^2 - \frac{a_2}{T} k_2 (\chi_{21})_r^2 + \frac{\partial S}{\partial \rho_{12}} \operatorname{div} a_1 (\chi_{12})_r + \frac{\partial S}{\partial \rho_{21}} \operatorname{div} a_2 (\chi_{21})_r$$

an die Entropiegleichung ab. Die Divergenzglieder heben sich auf, die Diffusion hat also keinen besonderen Entropiefluß. Hingegen bestimmen die quadratischen Glieder eine nicht umkehrbare positive Entropieproduktion J_d^2 der Diffusion im Werte von

$$J_d^2 = \frac{a_1}{T} k_1 (\chi_{12})_r^2 + \frac{a_2}{T} k_2 (\chi_{21})_r^2.$$

Diese Art der Abstimmung der rotorisch-dyadischen Derivationen erster Ordnung meiner Diffusionstheorie auf das Entropieprinzip rührt zum Teil von Lohr[1] her. Hier möge auch auf eine eigenartige Modifikation der Theorie der Elektrolyse hingewiesen werden, welche Lohr am angeführten Orte entwickelt.

24. Theorie der Oberflächenspannung.

155. Für eine Nahewirkungstheorie der Oberflächenspannung hätte es kein Vorbild gegeben die Auffindung der rotorisch-dyadischen Derivationen und die Kenntnis der stofflichen Natur der Spannungsdyade führte aber den Verfasser[2] fast ohne weiteres Zutun zum Verständnis der Oberflächenspannung und zur Aufstellung des Nahewirkungsgesetzes derselben.

Es mögen ψ, χ und τ drei reale dyadische Variable bezeichnen, die derartig in den Verwandlungsgliedern und in den rotorisch-dyadischen Derivationen der Differentialgesetze auftreten, daß man im Ruhefalle mit Annäherung folgende Gleichungen erhält:

291) $\varkappa \psi = \nabla \times h \tau$ und 292) $x \tau = \nabla \times \chi$,

worin $\varkappa$, x und h Materialkonstante sind. Hieraus folgt:

293) $$\varkappa \psi = \nabla \times (b \nabla \times \chi).$$

---

[1] Lohr, Denkschr. d. Wien. Akad., Bd. 93 (1916), p. 384 ff.

[2] Jaumann, Geschlossenes System von Differentialgesetzen. Wien. Akad., Bd. 120 (1911), p. 430 ff.

Die stoffliche Spannungsdyade θ_2 ist eine lineare Funktion der sämtlichen dyadischen Variablen $\bar{\sigma}_i$ und $\bar{\tau}_i$ (vergleiche weiter oben § 91). Nehmen wir an, daß dieselbe cet. par. auch der dyadischen Variablen ψ proportional ist $\bar{\theta} = k\psi$, so folgt

294) $$\bar{\theta} = a\nabla \times (b\nabla \times \chi), \text{ worin } a = k/x \text{ und } b = h/x \text{ ist.}$$

Aus dem Vorkommen rotorisch-dyadischer Derivationen in den Differentialgesetzen folgt das Auftreten von Spannungen, welche in jenen Teilen des Mediums (Oberflächenschichten) merklich ist, in welchen die räumliche Derivation $\nabla \times \chi$ sehr große Werte hat. Es muß also χ eine für das Material oder den Zustand desselben charakteristische Variable sein, zum Beispiel eine chemische Zustandsvariable (oder auch eine Funktion derselben und der Dichte und Temperatur).

Nehmen wir der Einfachheit wegen an, daß χ eine skalare Variable ist. Dann ergibt sich aus (294) für die Kraft pro Volumseinheit

$$\nabla \cdot \bar{\theta} = b\nabla a \cdot \nabla \times \nabla \chi.$$

Es ist dabei berücksichtigt, daß $\nabla \cdot \nabla \times \chi \equiv 0$ und vorausgesetzt, daß die Gradienten aller Materialeigenschaften in der Oberflächenschicht gleichgerichtet sind, daß also

$$\nabla a \times \nabla b = 0 \text{ und daher } \nabla a \cdot \nabla b \times \nabla \chi = (\nabla a \times \nabla b) \times \nabla \chi = 0$$

ist. Bezeichne $\mathfrak{n}$ eine Verteilung von Einheitsvektoren, welche überall die Richtung dieser Gradienten, also der Normalen der gekrümmten Oberflächenschicht haben, so ist $\nabla \chi = \mathfrak{n}\, d\chi/ds$ und $\nabla a = \mathfrak{n}\, da/ds$, worin ds ein Längenelement der Orthogonaltrajektorien der Niveauflächen von χ oder a bezeichnet. Dann ist

$$\nabla \cdot \bar{\theta} = f(s)\,\mathfrak{n} \cdot \nabla \times \mathfrak{n} = f(s)\,\mathfrak{n}\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right) \text{ worin } f(s) = b\,\frac{da}{ds}\,\frac{d\chi}{ds}$$

und r_1 und r_2 die Hauptkrümmungsradien der Oberflächenschicht sind.

Genaueres hierüber siehe am angeführten Orte. Integriert man über eine die Oberflächenschicht durchsetzende Orthogonaltrajektorie s, so ergibt sich für den Spannungsunterschied auf beiden Seiten s_1 und s_2 der Oberflächenschicht der Wert:

$$\bar{\theta}_1 - \bar{\theta}_2 = C\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right), \text{ worin } C = \int_{s_1}^{s_2} ds\, f(s) \text{ die Kapillarkonstante ist.}$$

156. Es bleibt noch die Frage zu beantworten, aus welchen der dyadischen Differentialgesetze III bis VII die rotorisch-dyadischen Beziehungen (291) und (292) für den Ruhefall folgen, welcher Natur also die drei dyadischen Variablen ψ, τ und χ sind. Da erscheint es am natürlichsten, Beziehungen zwischen der Oberflächenspannung und der Diffusion anzunehmen und wir wollen daher ausführlich zeigen, daß die Erscheinungen der Oberflächenspannung aus dem chemischen Gleichungssystem VI_i) VII_i), § 154 ohneweiters deduziert werden können. Bezeichne $(\chi_{12})_a = \chi_{12} - \frac{1}{3}(\chi_{12})_s I$ den skalarfreien Teil der chemischen Zustandsvariablen χ_{12}. Der skalfreie Teil der chemischen Schlußgleichung VII_{12}) lautet:

$$\frac{d\,(\chi_{12})_a}{dt} + (p_{12})_a \operatorname{div} \mathfrak{v} + (F_{12})_a = \nabla \times z_{12}.$$

Hierin ist nach § 154 $(F_{12})_a = k_1(\chi_{12})_a$ und es folgt daher für den quasistatischen Fall

295) $$k_1(\chi_{12})_a = \nabla \times z_{12} \quad \text{und ebenso} \quad k_2(\chi_{21})_a = \nabla \times z_{21}.$$

Diese Gleichungen entsprechen der Gleichung (292). Aus den chemischen Differentialgesetzen VI_{12}, VI_{21}, § 154, folgt im Ruhefalle:

$$\nabla, u_1\rho_{12}\mathfrak{e} - \mathfrak{k}_1 K \hat{\rho}_1^{\alpha_1}\hat{\rho}_2^{\alpha_2} + c_{12}\psi_{12} + s_{21}\psi_{21} = \nabla \times a_1\chi_{12}$$
$$\nabla, u_2\rho_{21}\mathfrak{e} - \mathfrak{k}_2 K \hat{\rho}_1^{\alpha_1}\hat{\rho}_2^{\alpha_2} + c_{21}\psi_{21} + s_{12}\psi_{12} = \nabla \times a_2\chi_{21}$$

Die elektrolytischen Glieder dieser Gleichungen erklären die elektrokapillaren Erscheinungen worauf wir hier nicht näher eingehen; wir setzen im folgenden $u_1 = u_2 = 0$. Es folgt unter Berücksichtigung von (221)

296) $$(\mathfrak{k}_2 c_{12} - \mathfrak{k}_1 s_{12}) \left(\psi_{12} - \frac{A_1}{A_2} \psi_{21}\right) = \nabla \times (\mathfrak{k}_2 a_1 \chi_{12} - \mathfrak{k}_1 a_2 \chi_{21})$$

Diese Gleichung entspricht der Gleichung (291). Aus (295) und (296) folgt das Gesetz der Oberflächenspannung. Die rotorisch-dyadischen Derivationen der rechten Seite von VI_{12} und VI_{21} bewirken, daß im Ruhefalle innerhalb der Oberflächenschicht die gebundenen Anteile ρ_{12} und ρ_{21} nicht genau im stöchiometrischen Verhältnis stehen können. Die Beiträge, welche diese Dichten zu dem Druck, und allgemeiner die Beiträge, welche die dyadischen Variablen ψ_{12} und ψ_{21} zu der Spannungsdyade

$$\theta = (R_1 \psi_{12} + R_2 \psi_{21})\, T = R_1 \left(\psi_{12} + \frac{A_1}{A_2} \psi_{21}\right) T$$

liefern, sind also nicht gleich. Nach (296) und (292) ist der Anteil

$$\bar{\theta} = R_1 \left(\psi_{12} - \frac{A_1}{A_2} \psi_{21}\right) T$$

dieser Spannungsdyade θ als Oberflächenspannung zu bezeichnen und es ergibt sich

$$\bar{\theta} = a \nabla \times (\mathfrak{k}_2 a_1 \chi_{12} - \mathfrak{k}_1 a_2 \chi_{21}), \text{ worin } a = R_1/(\mathfrak{k}_2 c_{12} - \mathfrak{k}_1 s_{12}).$$

Nach 295) folgt $\bar{\theta} = a \nabla \times (b_1 \nabla \times z_{12} - b_2 \nabla \times z_{21})$, worin $k_1 b_1 = \mathfrak{k}_2 a_1$ und $k_2 b_2 = \mathfrak{k}_1 a_2$.

Diese Gleichung entspricht genau der Gleichung (294) und damit ist die Oberflächenspannung erklärt. Es folgt unter anderem: wenn zwei verschiedene Phasen (zum Beispiel Flüssigkeit und ihr Dampf) in einer scharfen Oberflächenschicht aneinandergrenzen, welche Oberflächenspannung zeigt, so sind die thermodynamischen Potentiale derselben im Ruhefalle nicht genau gleich.

25. Theorie der Gravitation.

157. Aus dem geschlossenen System von Differentialgesetzen meiner Theorie ging die erste Nahewirkungstheorie der Gravitation hervor. Aus Verwandlungsgliedern dieser Differentialgesetze, welche der Dichte proportional sind und den zugehörigen rotorisch-dyadischen Derivationen gehen Beziehungen von der Form (293)

$$\varkappa \psi = \nabla \times \left(\frac{h}{x} \nabla \times \chi\right)$$

hervor. Falls χ eine annähernd isotrope Variable, ferner $\psi_s = \rho$ und $h = x$ ist, hat der skalare Teil dieser Beziehung die Form

297) $$\varkappa \rho = \operatorname{div} \nabla \chi$$

der Poisson'schen Differentialgleichung des Gravitationsfeldes, worin χ das Gravitationspotential ist. Von prinzipieller Bedeutung ist, daß diese Gleichung nach meiner Theorie nur für den Ruhefall gilt und aus Nahewirkungs- und Differentialgesetzen folgt, welche für den allgemeinen Fall gelten. Das Poisson'sche Gesetz ist an sich kein Nahewirkungsgesetz. Es kann zu einem solchen nur durch Hinzufügung der Fluxion einer realen Variablen erhoben werden. Das Gravitationspotential χ ist nach obiger Ableitung der Gleichung (297) eine reale physikalische Variable und es ist am natürlichsten, die totale Fluxion dieser Variablen dem Gravitationsgesetze (297) hinzuzufügen und es dadurch zu dem Nahewirkungsgesetze der Gravitation auszugestalten:[1]

VIII) $$\alpha \frac{d\chi}{dt} + \varkappa \rho = \operatorname{div} \nabla \chi.$$

Die reale Variable χ charakterisiert sich dadurch als das Gravitationspotential, daß in der Bewegungsgleichung O) das Glied

zu O) $$\rho \nabla \chi$$

auftritt. Dasselbe gibt an die Energiegleichung den Wert $\rho \mathfrak{v} \cdot \nabla \chi$ ab, welcher zu der Divergenz eines Energieflusses $\rho \chi \mathfrak{v}$ durch das Glied

zu VIII) $$+ \chi \operatorname{div} \rho \mathfrak{v}$$

ergänzt werden muß, welches also dem Differentialgesetz VIII hinzugefügt werden muß. Man erhält so schließlich die allgemeine Form desselben:

VIII) $$\alpha \rho \frac{d\chi}{dt} + \beta \chi \operatorname{div} \bar{\rho} \mathfrak{v} + \varkappa \bar{\rho} = \operatorname{div} n \nabla \chi,$$

worin α β und n Konstante sind.[2] Die Divergenz auf der rechten Seite dieser Gleichung fordert, daß der Energiefaktor derselben konstant, zum Beispiel gleich 1 ist.

158. Dann bleibt die durch das Verwandlungsglied dieses Gravitationsgesetzes bestimmte nicht umkehrbare Energieproduktion $\varkappa \bar{\rho}$ übrig, welche durch das gleiche und entgegengesetzte, in der Wärmegleichung auftretende Glied

zu V_s) $$-\varkappa \bar{\rho}$$

kompensiert werden muß. Hierin ist $\bar{\rho} = \rho - \rho_0$ und ρ_0 die Dichte des Weltäthers. Es ergibt sich hierdurch eine spontane Wärmeproduktion aller dichten Körper, welche durch den neuen Energiefluß

$$\mathfrak{s} = -n \nabla \chi$$

des Gravitationsfeldes vermittelt wird.

Damit ist das Sonnenproblem gelöst, das heißt die Ursache der unerschöpflichen Sonnenstrahlung nachgewiesen. In bezug hierauf und auf die astronomischen Konsequenzen des Nahewirkungsgesetzes VIII) der Gravitation verweise ich auf die zitierte Abhandlung.

Schließlich gestatte ich mir mitzuteilen, daß ich ein umfassendes Werk über die Physik der kontinuierlichen Medien abgeschlossen habe, welches unter dem Titel: »Einführung in die reine theoretische Physik« erscheinen wird.

---

1 Vergl. Jaumann, Feststellung einer Priorität in der Gravitationstheorie, Phys. Zeitschr. 15. (1914), p. 159.

2 Jaumann, Theorie der Gravitation, Diese Sitzber. 121 (1912), p. 95 ff.



BERICHTE

DER

KOMMISSION FÜR OZEANOGRAPHISCHE FORSCHUNGEN

IM

ROTEN MEERE.

NÖRDLICHE UND SÜDLICHE HÄLFTE 1895/96—1897/98.

EXPEDITION S. M. SCHIFF „POLA" IN DAS ROTE MEER

NÖRDLICHE UND SÜDLICHE HÄLFTE

1895/96—1897/98

ZOOLOGISCHE ERGEBNISSE

XXXII

ASCIDIA PTYCHOBRANCHIA UND DICTYOBRANCHIA DES ROTEN MEERES

VON

Prof. W. MICHAELSEN

(HAMBURG)

MIT 1 TAFEL, 20 TEXTFIGUREN UND 1 KARTENSKIZZE

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 10. JÄNNER 1918

Die vorliegende Abhandlung bildet den ersten Teil einer Bearbeitung der Ascidien des Roten Meeres und betrifft die Ordnungen der *Ptychobranchia* und *Diktyobranchia*. Das mir zur Untersuchung vorliegende sehr reiche Material stammt zu annähernd gleichen Teilen aus 4 verschiedenen Sammlungen: 1. der Ausbeute der K. k. österreichischen »Pola«-Expeditionen 1895/96 und 1897/98, an den verschiedensten Stellen des Roten Meeres gesammelt; 2. der Sammlung Hartmeyer's 1901/02 vom südlichen Teil des Golfes von Suës sowie von der Djobalstraße; 3. der Sammlung E. Bannwarth's von Suës 1912—1914 und schließlich 4. der Sammlung von Hemprich & Ehrenberg, leider ohne genauere Fundortsangaben.

Dieses Material ist fast ausschließlich vom Strande aus im Flachwasser gesammelt worden. Ascidien aus größeren Tiefen fehlen gänzlich. Selbst die »Pola«-Expeditionen brachten keinen Ascidienfund aus einem Schleppnetzzug in größerer Wassertiefe. Da von diesen Expeditionen zahlreiche Schleppnetzzüge in großen Tiefen ausgeführt wurden, wie aus der Liste der Molluskenausbeute [1] zu

[1] Sturany R., Lamellibranchiaten des Roten Meeres. in diesen Denkschr., LXIX. Bd., 1901.

ersehen ist, so erscheint die Frage angebracht, ob in den größeren Tiefen des Roten Meeres Ascidien überhaupt fehlen. Es wäre denkbar, daß die Lebensbedingungen in den Tiefen dieses abgeschlossenen Beckens, etwa ein Mangel an Sauerstoff oder ein zu starker Salzgehalt, diesen Tieren nicht zusagten. Ein endgültiges Urteil über diese faunistischen Verhältnisse läßt sich aber wohl noch nicht fällen.

Unsere bisherigen Kenntnisse von der Ascidienfauna des Roten Meeres beruhen fast ausschließlich auf den Untersuchungen von Savigny und Hartmeyer, wie aus der folgenden Liste der Veröffentlichungen über die Roten Meeres-Ascidien zu ersehen ist. Die übrigen in dieser Liste aufgeführten Autoren, Forskål, Ehrenberg, Keller und Michaelsen, haben meist nur ganz unzulängliche Angaben über einzelne Formen gemacht. Eine ausführliche Artbeschreibung findet sich nur bei dem letztgenannten dieser Autoren.

Verzeichnis der Veröffentlichungen über Ascidien des Roten Meeres.

1775, Forskål P., Descriptiones animalium avium, amphibiorum, piscium, insectorum, vermium; quae in itinere orientali observabit, Hauniae.

Salpa sipho.

1776, Forskål P., Icones rerum naturalium quas in itinere orientali depingi curavit, Hauniae.

»An *Ascidia quadridentata* L.«, ?*Alcyonii* sp. colore incarnato, *Salpa sipho.*

1810 (?), Savigny J. C., Tableau systématique des Ascidies, tant simples que composées; Paris.

1816, Savigny J. C., Mémoires sur les animaux sans vertèbres, II[1], Paris (ins Deutsche übersetzt von Oken, in: Isis, 1820, II).

Cynthia momus, C. pantex, C. gangelion, C. pupa, C. dione, [*Ascidia quadridentata,* Forskål], *C. canopus, C. polycarpa, C. mytiligera* [*Ascidia conchilega* Brug.], *C. solearis, C. cinerea, Phallusia sulcata* [*Alcyonium phusca* Fors.], *Ph. nigra, Ph. arabica, Ph. turcica, Aplidium lobatum, A. tremulum, A. effusum, Polyclinum saturnium, P. cythereum, P. isiacum, P. hesperium, P. uranium, Didemnum candidum, D. viscosum, Eucoelium hospitiolum, Botryllus rosaceus.*

1828, Ehrenberg C. G., Symbolae physicae seu icones et descriptiones corporum naturalium novorum aut minus cognitorum quae ex itineribus per Libyam Aegyptum Nubiam Dongalam Syriam Arabiam et Habessiniam publico institutis sumpta, I, Berolini.

Rhodosoma verecundum.

1883, Keller C., Die Fauna im Suezkanal und die Diffusion der mediterranen und erythräischen Tierwelt; in: N. Denk. schweiz. Ges. Naturw., XXVIII.

Ascidia (Ciona) intestinalis, Cynthia microcosmus?

1901, Hartmeyer R., Zur Kenntnis des Genus *Rhodosoma* Ehrbg.; in: Arch. Naturg., XVII, Beiheft.

Rhodosoma verecundum Ehrenb.

1904, Michaelsen W., Revision der compositen Styeliden oder Polyzoinen; in Mt. Mus. Hamburg, XXI.

Eusynstyela hartmeyeri.

1912, Hartmeyer R., Revision von Heller's Ascidien aus der Adria, II. Die Arten der Gattungen *Microcosmus, Cynthia, Styela, Polycarpa, Gymnocystis* und *Molgula*; in diesen Denksch., Wien, XXX.

Pyura spinosa Sluit.

1915, Hartmeyer R., Über einige Ascidien aus dem Golf von Sues; in: Sb. Ges. naturf. Fr. Berlin, 1915.

Styela canopus (Sav.), *Ascidia cannelata* (Ok.), *A. savignyi, Phallusia nigra* Sav., *Ph. arabica* Sav., *Didemnum candidum* Sav., *Polyclinum saturnium* Sav.

1916, Hartmeyer R., Neue und alte Styeliden aus der Sammlung des Berliner Museums; in: Mitt. Zool. Mus. Berlin, VIII 2.

Polycarpa mytiligera (Sav.), *P. ehrenbergi, Cnemidocarpa hemprichi.*

1918, Michaelsen W., Die Ptychobranchen und Diktyobranchen Ascidien des westlichen Indischen Ozeans; in: Mt. Mus. Hamburg, XXXV.

Pyura sansibarica Mich., *P. momus* (Sav.) f. *typica, Symplegma viride* Herdm. f. *stuhlmanni* Mich., *Botryllus niger* (Herdm.).

Geographisches.

In der folgenden Tabelle stelle ich sämtliche ausreichend charakterisierten Arten der *Ascidia Ptychobranchia* und *Diktyobranchia* des Roten Meeres unter Angabe ihrer Verbreitung (+) und gegebenen Falles auch der Verbreitung verwandter Formen (*a*) oder der zu ihrer Artengruppe gehörenden Formen (—) zusammen.

	O.-Nordamerika	Westindien	O.-Südamerika	N.- u. W.-Europa	W.-Afrika	Mittelmeer	Rotes Meer	Golf v. Aden	O.-Afrika	S.-Afrika	N.-Indisch. Oz.	Malayisch. Arch.	Austral. Geb.	Nw.-Pazifisch. Oz.	O.-Pazifisch. Oz.	Bemerkungen
Ctenicella dione	.	.	.	.	.	.	+	.	? *a*	? *a*	.	.	.	.	.	? aff. *Ct. natalensis* u. *Ct. conchata*
Halocynthia spinosa	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	*a*	*a*	aff. *H. aurantium*
Pyura pantex	.	.	.	? *a*	.	? *a*	+	.	.	.	.	.	.	.	.	? aff. *P. savignyi*
P. gangelion	.	.	.	.	*a*	.	+	?	*a*	.	.	.	.	.	.	aff. *P. sansibarica*
P. sansibarica	.	.	.	.	+	.	+	?	+	.	.	.	.	.	.	aff. *P. gangelion*
P. momus	.	+	.	.	.	.	+	+	+	+	+	+	+	+	.	species ampla
Microcosmus pupa	.	?	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	? = *M. anchylodeirus*
M. exasperatus australis	*a*	*a*	.	.	.	.	+	.	*a*	.	.	+	+	.	.	aff. *M. e. typicus*
Styela canopus	—	.	.	—	—	—	+	.	—	—	.	—	.	—	—	—*St. canopus*-Gruppe
Cnemidocarpa margaritifera	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	
Cn. hartmeyeri	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	
Cn. hemprichi	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	
Polycarpa mytiligera	.	.	.	.	.	.	+	.	—	.	?	—	—	—	.	—*P. mytiligera*-Gruppe
P. ehrenbergi	.	.	.	.	.	.	+	.	—	.	?	—	—	—	.	—*P. mytiligera*-Gruppe
P. polycarpa	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	
P. anguinea suesana	.	.	.	.	.	.	+	.	.	*a*	.	.	.	.	.	aff. *P. a. typica*
P. coccus	.	.	.	.	.	.	+	*a*	.	?	.	.	.	.	.	aff. *P. miniata* u. ? *P. tritonis*
P. steindachneri	.	.	.	.	.	.	+	*a*	.	?	.	.	.	.	.	aff. *P. miniata* u. ? *P. tritonis*
Eusynstyela hartmeyeri	? *a* ?	.	.	.	.	.	+	.	+	.	+	?	.	.	.	aff. ?, = ? *Eu. tincta*
Symplegma viride	+	+	.	.	.	.	+	.	+	.	+	+	+	.	.	
Botryllus niger	+	.	.	.	.	.	+	.	+	+	.	?	+	.	.	
B. rosaceus	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	
Rhodosoma verecundum	.	*a*	.	.	.	—	+	.	.	.	.	*a*	.	.	.	—Gen. *Rh.*, *a* näher verw.
Ascidia cannelata	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	
A. savignyi	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	
Phallusia nigra	+	+	+	.	.	.	+	+	.	?	+	.	.	.	.	
Ph. arabica	.	.	.	.	.	*a*	+	.	.	.	.	.	.	.	.	aff. *Ph. fumigata*
Ciona intestinalis	+	.	.	+	.	+	+	.	.	.	+	.	+	.	.	

Aus dieser Zusammenstellung sind einige ungemein interessante geographische Beziehungen ersichtlich, die besonders klar hervortreten, wenn wir von den geographisch neutralen Arten absehen, nämlich einerseits von den Arten, die bisher lediglich im Roten Meer gefunden worden sind und auch keine nähere Verwandtschaft zu Arten aus anderen Gebieten erkennen ließen, andrerseits von Arten, die nahezu kosmopolitisch sind, wie *Ciona intestinalis*, oder deren engerer Verwandtenkreis fast kosmopolitisch ist, wie *Styela canopus*.

Zieht man aber jene Arten in Betracht, die eine weitere Verbreitung aufweisen oder deren nahe Verwandte eine besondere geographische Beziehung dartun, so fallen vor allem zwei geographische Verhältnisse auf, zunächst der Umstand, daß die Beziehungen der meisten dieser Arten ihrer weiteren Verbreitung nach oder durch das Vorkommen nahe verwandter Formen nach Süden weisen, nach dem Indischen Ozean, dem Malayischen Archipel und Australien hin, während die Beziehungen zum nahe gelegenen Mittelmeer ungemein schwach sind. Während viele Arten des Indischen Ozeans mit solchen des Roten Meeres identisch sind, weist das gut durchforschte Mittelmeer nicht eine einzige mit dem Roten Meer gemeinsame Art auf, und nur eine einzige Art, die einer Art des Roten Meeres besonders nahe steht (*Phallusia fumigata* Gr.—*Ph. arabica* Sav.). Ob *Pyura pantex* (Sav.) der mediterran-westeuropäischen *P. savignyi* (Phil.) besonders nahe steht und damit eine zweite Roten Meeres-Art mit mediterraner Beziehung darstelle, ist noch fraglich. Die Gattung *Rhodosoma,* die nach dem Vorkommen ihrer Arten eine nähere Beziehung zwischen dem Roten Meer und dem Mittelmeer vortäuschen könnte, kommt hier in der Tat nicht in Frage, denn das mittelmeerische *Rh. callense* (Lac.-Duth.) steht ganz gesondert in der Gattung, während sich *Rh. verecundum* Ehrbg. vom Roten Meer enger an die westindische Art und an die pazifischen Arten anschließt.

Als zweites in die Augen springendes geographisches Moment ergibt sich aus der obigen Tabelle eine auffallende innige Beziehung zwischen dem Roten Meer und Westindien, einschließlich der Bermuda-Inseln und unter Ausschluß des geraden Verbindungsweges über das Mittelmeer und den östlichen Teil des mittleren Atlantischen Ozeans. Es handelt sich hierbei anscheinend um eine zersprengte Verbreitung, als deren Typus die Verbreitung von *Phallusia nigra* Sav. gelten kann: Einerseits Rotes Meer, Golf von Aden, Arabisches Meer (Maskat) — andrerseits Westlicher Atlantischer Ozean von den Bermuda-Inseln bis Brasilien (Rio de Janeiro). Außer dieser Art zeigen noch *Rhodosoma verecundum* Ehrbg., *Botryllus niger* (Herdm.), *Symplegma viride* Herdm., *Eusynstyela hartmeyeri* Mich., *Microcosmus exasperatus* Hell., *Pyura momus* (Sav.) und vielleicht auch *Microcosmus pupa* (Sav.) eine derartige geographische Beziehung. Bei der Frage nach der ursprünglichen Linie dieser jetzt anscheinend für alle in Frage kommenden Arten diskontinuierlichen Verbreitung ist meiner Ansicht nach in erster Linie festzustellen, daß der Weg über das Mittelmeer und den östlichen Teil des mittleren Atlantischen Ozeans von vorn herein ausgeschlossen ist. Das gut durchforschte Mittelmeer würde im anderen Falle bedeutendere Übereinstimmung mit dem Roten Meer zeigen und nicht, wie tatsächlich, ein scharf gesondertes Bild. Als vermittelndes Gebiet ist wohl zunächst das kapländische Gebiet anzusehen, in dem einige der betreffenden Arten Vertreter aufweisen, so *Pyura momus, Botryllus niger* und vielleicht auch *Phallusia nigra.* Hartmeyer,[1] der sich näher mit der anscheinend diskontinuierlichen Verbreitung letzterer Art beschäftigte, hält es für wenig wahrscheinlich, daß Herdman's[2] fragliche Fundortsangabe für *Ph. nigra*: »probably from Station 142, Dezember 18, 1873; lat. 35° 4′ S., long. 18° 37′ E.; depth, 150 Fathoms . . . « (wenige Meilen südlich vom Kap der guten Hoffnung) zutreffend sei; »da die Art sonst eine ausgesprochene Küstenform, und zwar vorwiegend ein Riffbewohner ist«. So erscheint sie uns allerdings nach den bisher bekannten Funden, mit Ausnahme des kapländischen. Es ist aber zu beachten, daß wir von Ascidien des etwas tieferen Litorals sehr wenig kennen, und zwar aus dem Gebiet des Roten Meeres und Ostafrikas so gut wie gar nichts. Ich halte es doch für besser, jene Herdman'sche Fundortsangabe im Auge zu behalten. Wenn wir nun das südafrikanische Meer als Vermittler in Anspruch nehmen, wie haben wir uns die weitere Verbindung mit Westindien zu denken? Die von mir selbst[3] näher untersuchte Strandregion Westafrikas kommt zweifellos nicht in Betracht. Ihre Ascidienfauna ist eine Kümmerfauna, die keinerlei Beziehungen zur ostafrikanischen Fauna erkennen läßt. Es bleibt danach nur der Weg schräg

[1] Hartmeyer, Über Ascid. Golf. von Suez, p. 414.

[2] Herdman, Rep. Tunic. Challenger I. p. 211.

[3] Michaelsen, Tunic.; in: Meeresfauna Westafrikas, I.

durch den Atlantischen Ozean, etwa über St. Helena und Ascension, vielleicht auch unter Streifung der Guinea-Inseln (*Pyura sansibarica* Mich., dem ostafrikanisch-erythräischen Gebiet und den Guinea-Inseln gemeinsam), nach Brasilien. Es wäre demnach zu vermuten, daß außer *Ph. nigra* auch noch andere der Westindien und Ostafrika gemeinsamen Arten, bezw. Verwandtschaftsgruppen in der noch fast ganz unbekannten Ascidienfauna des tropischen Südamerikas vertreten seien.

Fassen wir diese Einzeltatsachen und -schlüsse zusammen, so können wir folgenden allgemeinen Schluß ziehen: Die litorale Ascidienfauna des Roten Meeres ist sehr scharf von der des Mittelmeeres gesondert, zeigt dagegen innige Beziehungen zu der des Indischen Ozeans und über diesen hinaus einerseits ostwärts nach dem Malayischen Archipel, Australien und dem Pazifischen Ozean, andrerseits südwärts nach dem Kapgebiet und dann westwärts abschwenkend nach dem tropisch-atlantischen Südamerika und Westindien, einschließlich der Bermuda-Inseln.

Fundorte

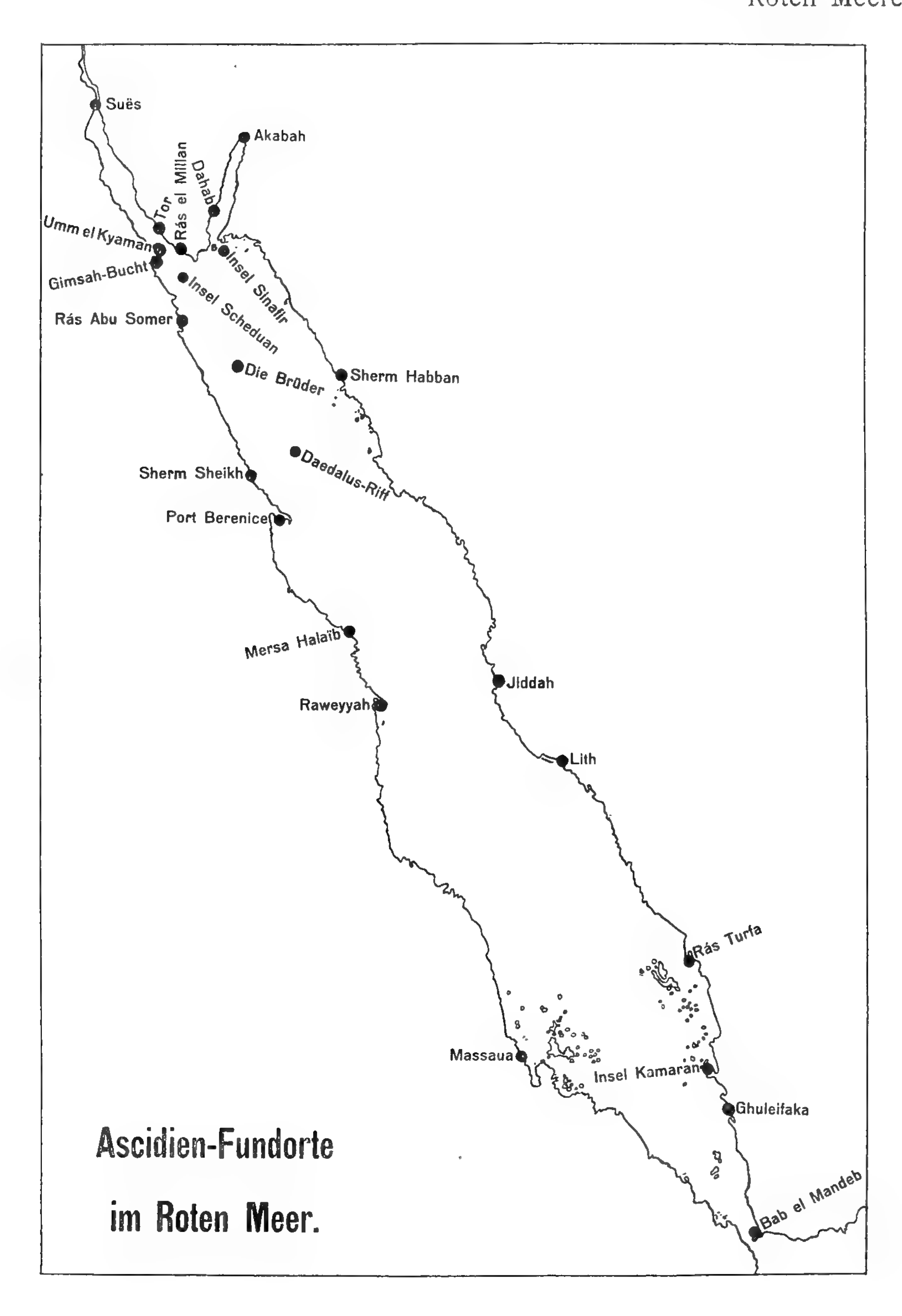
von Nordnordwest nach Südsüdost, in der Richtung der allgemeinen Erstreckung des Roten Meeres, aneinandergereiht.

Die Fundorte der in den untersuchten Sammlungen vertretenen Ascidien-Arten verteilen sich, wie die folgende Liste und die sie begleitende Kartenskizze zeigen, nicht ganz gleichmäßig über die ganze Erstreckung des Roten Meeres. Der nördliche Teil, zumal der Golf von Suës und sein Südausgang, die Djobalstraße, erscheinen bedeutend bevorzugt. Das tritt noch mehr hervor, wenn man den Gehalt der Ausbeuten von den verschiedenen Fundorten betrachtet.

Suës (Suëz)	29°	55′	nördl.	Br.	32°	32′	östl.	L.	Nordende des Golfes von Suës.
Akabah	29	29	»	»	35	0	»	»	Nordende des Golfes von Akabah.
Mersa Dahab	28	28	»	»	34	30	»	»	Sinai-Küste des Golfes von Akabah.
Tor (Tur)	28	14	»	»	33	37	»	»	Sinai-Küste des Golfes von Suës
Umm el Kyaman (U. el Jerman)	27	51	»	»	33	35	»	»	Afrikanische Küste der Djobal-Straße.
Gimsah-Bucht (Ghubbet ti Gimsah)	27	38	»	»	33	32	»	»	Afrikanische Küste der Djobal-Straße.
Rás el Millan	27	53	»	»	33	57	»	»	Sinai-Küste der Djobal-Straße.
Insel Sinafir (I. Senafir)	27	55	»	»	34	42	»	»	Vor dem Eingang des Golfes von Akabah.
Insel Scheduan (J. Shadwan)	27	30	»	»	34	0	»	»	Mitten in der Djobal-Straße.
Rás Abu Somer	26	50	»	»	33	58	»	»	Afrikanische Küste des nördl. Roten Meeres.
Die Brüder	26	19	»	»	34	51	»	»	Mitten im nördl. Roten Meer.
Sherm Habban (Sh. 'Abban)	26	6	»	»	36	33	»	»	Arabische Küste des nördl. Roten Meeres.
Daedalus-Riff (Abdul Kheesan)	24	55	»	»	35	51	»	»	Mitten im nördl. Roten Meer.
Sherm Sheikh (Mersa Sheikh)	24	36	»	»	35	5	»	»	Afrikanische Küste des nördl. Roten Meeres.

Port Berenice . . . . 23° 55′ nördl. Br. 35° 27′ östl. L. Afrikanische Küste des nördl. Roten Meeres.

Mersa Halaïb . . . . 22 17 » » 36 38 » » Afrikanische Küste des mittl. Roten Meeres.



Ascidien-Fundorte im Roten Meer.

Raweyyah (Raveya) . . . . . 21° 5′ nördl. Br. 37° 12′ östl. L. Afrikanische Küste des mittl. Roten Meeres.

Jiddah (Djeddah) . . . . . . 21 26 » » 39 10 » » Arabische Küste des mittl. Roten Meeres.

Lith (Lid, Mamuret el Hamidje) 20 10 » » 40 15 » » Arabische Küste des mittl. Roten Meeres.

Rás Turfa . . . . 17 0 » » 42 13 » » Arabische Küste des südl. Roten Meeres.

Massaua (Massawa) . . . . . 15 40 » » 39 30 » » Afrikanische Küste des südl. Roten Meeres.

Insel Kamaran	15° 25′ nördl. Br.	42° 30′ östl. L.	Vor der arabischen Küste des südl. Roten Meeres.
Ghuleifaka	14 37 » »	42 45 » »	Arabische Küste des südl. Roten Meeres.
Bab el Mandeb, nördl. Ausgang der Kleinen Straße	12° 40′ » »	43° 20′ » »	Vor der arabischen Küste des südl. Roten Meeres.

Beschreibender Teil.

Ich führe im folgenden beschreibenden Teil sämtliche zur Zeit feststellbaren *Ascidia ptychobranchia* und *A. diktyobranchia* des Roten Meeres auf, auch diejenigen, die in den von mir untersuchten Sammlungen nicht vertreten sind. Groß ist die Zahl der letzteren nicht. Die meisten ungenügend beschriebenen Arten älterer Autoren finden sich als mehr oder weniger fragliche Synonyme besser bekannten Arten zugeordnet.

Ptychobranchia.

Fam. **Molgulidae.**

Die Familie der Molguliden ist im Roten Meer, wie an der ganzen Ostküste Afrikas, sehr schwach vertreten. Bisher war Savigny's *Cynthia dione* die einzige vom Roten Meer bekannte Art, zugleich die einzige ostafrikanische Art dieser Familie. Vor wenigen Jahren (1911) fand ich nun eine an anderer Stelle (l. c. 1918) erörterte zweite ostafrikanische Molgulide bei Durban in Natal, und zwar eine anscheinend der kapländischen *Ctenicella conchata* (Sluit.) nahestehende Form. Aus dem weiten Zwischengebiet ist auch jetzt noch keine Molgulide gemeldet worden, bezw. zu melden. Wenngleich die spärlichen älteren Angaben über ostafrikanische Ascidien durchaus kein Urteil über diese Ascidienfauna gestatten, so gibt doch das vollständige Fehlen von Molguliden in dem mir vorliegenden sehr reichen Material aus dem Roten Meer zu denken; rechnen wir hinzu, daß in meinem wenn auch nicht reichen, so doch immerhin beachtenswerten Material von anderen Punkten der ostafrikanischen Küste nur ein einziges Molgulidenstück enthalten ist (die oben erwähnte natalensische *Ctenicella*), so möchte man die Spärlichkeit des Vorkommens von Molguliden im ostafrikanischen Gebiet für erwiesen erachten. Dieser Schluß wäre aber voreilig. Die bis jetzt vorliegenden ostafrikanischen Materalien, einschließlich der aus dem Roten Meere, stammen fast ausschließlich aus der von der Brandungswelle bespülten Strandzone, in der fast nur festsitzende Tiere oder sich in widerstandsfähigem Bodenmaterial verkriechende Tiere vorkommen. Die Lebensbedingungen der Strandregion entsprechen aber im allgemeinen nicht dem Charakter der Molgulidenmehrheit. Nur wenige Arten dieser Familie, so auch die beiden ostafrikanischen Formen vom Roten Meer und von Natal, sind festsitzend; die meisten Molguliden sind frei im Sand und Schlamm ruhiger Meeresteile steckende Tiere, die bei Sammlungen am Ebbestrand kaum erbeutet werden. Es muß demnach mit der Möglichkeit gerechnet werden, daß geeignete, bis jetzt in diesem Gebiet nur selten angewandte Sammelmethoden auch noch frei lebende Molguliden erbringen.

Gen. Ctenicella Lac. Duth.

1914 *Ctenicella,* Hartmeyer, Diagn. Molgulid. Berlin. Mus., in: Sb. Ges. nat. Fr. Berlin, 1914, p. 17.

Erörterungen über diese Gattung siehe unter *Ctenicella dione!*

Ctenicella dione (Sav.).

1816 *Cynthia dione* Savigny, Anim. s. vertèbr. II [1], p. 93, 153, Taf. VII, Fig. 1.

1822 *Caesira diona*, Fleming, Phil. Zool. II, p. 511.

1909 — *dione* (sp. inquir.), Hartmeyer, Tunicat., in: Bronn, Kl. Ordn. Tierr., p. 1324.

1908 — — (sp. inquir.), Hartmeyer, Termin. Ascid., in Zool. Ann., III, p. 17.

1914 [*Caesira, Ctenicella?*] *dione* (sp. inquir.), Hartmeyer, Diagn. Molgulid. Berlin. Mus., in Sb. Ges. nat. Fr. Berlin, 1914, p. 3.

In den vorliegenden Sammlungen nicht vertreten.

Ältere Fundangabe: Rotes Meer, »fixée sur le sable etc.« (nach Savigny).

Erörterung. Diese Savigny'sche Art, die älteste als Molgulide erkennbare Tunicate, wird von Hartmeyer (l. c. 1909, p. 1324) und Ritter[1] als species inquirenda behandelt, meiner Ansicht nach nicht ganz mit Recht. Die von klaren, wenn auch etwas schematischen Abbildungen begleitete Savignysche Beschreibung ist für ihre Zeit als recht gut zu bezeichnen, jedenfalls besser als viele moderne Ascidien-Beschreibungen. Sie enthält zwar einige Lücken; wollte man aber alle mit geringen Beschreibungslücken behafteten Arten als species inquirendae beiseite stellen, so würde von den durch Hartmeyer im »Bronn, Kl. Ordn. Tierr.« zusammengestellten »sicheren Arten« noch ein sehr großer Teil zurückgestellt werden müssen. Leider herrscht eine Meinungsverschiedenheit in der Beurteilung des Kiemensackes von *Cynthia dione* Sav., jenes Organs, dessen Struktur die Hauptrolle bei der Entscheidung über die Zugehörigkeit zu den Gattungen *Molgula* und *Ctenicella* spielt. Ich meinerseits stimme hierbei im Gegensatz zu Hartmeyer mit Huntsman[2] überein, der in Savigny's *Cynthia dione* eine *Ctenicella*-Form mit dem typischen Kiemensack dieser Gattung sieht. Hartmeyer's Einwurf (l. c. 1914, p. 3), daß die in Frage kommende Zeichnung Savigny's (l. c. 1816, Taf. VII, Fig. 1*f*) nicht eindeutig sei, daß man aus dieser Zeichnung ebensowohl lange, spiralig gebogene Kiemenspalten wie in Querreihen angeordnete gerade Spalten herausdeuten könne, trifft meiner Auffassung nach den Kernpunkt der Frage nicht. Auch in dem typischen *Ctenicella*-Kiemensack bilden die Kiemenspalten der Faltentrichter[3] Spiralen. Es sind dies zwar keine glatten Kreisspiralen, wie meist, wenn auch nicht immer, bei *Molgula*, sondern Polygonspiralen, deren Umgang sich aber mit der größeren Zahl der Polygonseiten der Kreisform nähert, zumal, wenn nun noch die Polygonseiten etwas gebogen sind, wie es auch bei typischen *Ctenicella* vorkommt. Das Wesentliche dieser *Ctenicella*-Polygonspiralen liegt meiner Ansicht nach darin, daß sie durch eine bestimmte Zahl von Quergefäßen regelmäßig geteilt sind, und zwar ist diese Zahl der Teilstücke eine Potenz von 2, nämlich 4, 8 oder 16. Die von den gleichen Quergefäßen begrenzten nebeneinander liegenden Kiemenspalten — je einer Polygonseite entsprechend — bilden eine Fortsetzung der von den gleichen Quergefäßen auf den Faltenzwischenräumen begrenzten Kiemenspaltenreihe. Infolge einer Zusammenpressung der Kiemensackfalte können unter Umständen auch die Polygonspiralen mehr oder weniger spitzwinklig gerundet — rhombisch zusammengedrückt — sein, so daß die an einer Seite der Kiemensackfalte liegende Hälfte einer Polygonspirale eine sehr stumpfwinklige, der geraden Linie genäherte Figur bildet und die konzentrische Anordnung des Spiralsystems sich einer Parallellinien-Anordnung nähert, wie wir sie z. B. bei Styeliden finden. Bei dem Original der *Cynthia dione* scheint die Faltenpressung nur gering gewesen zu sein, daher die ausgesprochene Kuppelform der Faltentrichter und die deutliche Rundung der Kiemenspaltenlinien. Meist sind die Faltentrichter der *Ctenicella*-Formen einmal oder mehrmals gabelig geteilt, und dann verringert sich die Zahl der Polygonseiten, bezw. der Kiemenspaltenreihen bei jeder Gabelung auf die Hälfte, so von 16 auf 8 und von 8 auf 4. Manchmal auch bleiben die Faltentrichter einfach, und dann geht die

[1] Ritter, Simple Ascid. Northeast. Pacific., in: Proc. U. S. Nat. Mus., XLV, p. 434.

[2] Huntsman, Ascid. Canada, in: Trans. Canad. Instit., IX, p. 141, 142.

[3] Unter »Faltentrichter« verstehe ich das, was man sonst als »Infundibulum« bezeichnete, eine der trichterförmigen Einsenkungen der Kiemensackwandung in der Tiefe der Kiemensackfalten.

Zahl der an der Basis der Falten an einem Faltentrichter vorkommenden Kiemenspaltenreihen unverändert bis an die Kuppen der Faltentrichter. *Cynthia dione* stellt ganz deutlich eine solche Form vor, bei der die Faltentrichter einfach sind und regelmäßig 16-teilige Kiemenspaltenumgänge besitzen, jederseits 8 Teilstücke oder Kiemenspalten an einem Halbumgang. In der Savigny'schen Figur, die eine Aufsicht auf die ventrale Breitseite der Falten darbietet und damit die ventralen Hälften der Polygonspiralen zur Ansicht bringt, kommt diese Teilung der Polygonspiralhälften in 8 Seiten, bezw. Kiemenspalten, sehr deutlich zur Anschauung. Beachtenswert ist übrigens noch bei *Ctenicella dione* die sehr geringe Zahl der inneren Längsgefäße, nämlich nur 14 an einer Kiemensackseite, je 2 an einer Falte (l. c. 1816, Taf. VII Fig. 1^3 und $1\bar{f}$; p. 155: »plis...tous bordés par de larges vaisseaux«). Dieser Charakter erinnert sehr an Hartmeyer's Gattung *Molgulina* (l. c. 1914, p. 8), bei der jedoch mit der Reduktion der Zahl der inneren Längsgefäße eine Ausglättung der Falten Hand in Hand geht, während bei *Ctenicella*, so auch bei *Ct. dione,* die Falten stark erhaben sind.

Was die übrigen für die Sonderung von *Ctenicella* und *Molgula* (s. s.) in Betracht kommenden Organe anbetrifft, so schließt sich *Ct. dione* in Hinsicht des Flimmerorgans und, wie mir scheinen will, auch in Hinsicht der Geschlechtsorgane eng an die typischen *Ctenicella*-Arten an. Nach Hartmeyer (l. c. 1914, p. 3) soll der Bau der Gonaden gegen die Zuordnung von *Cynthia dione* zu *Ctenicella* sprechen. Das kann ich nicht einsehen. Zwar in Figur 1^1 und 1^2 der Savigny'schen Taf. VII, Ansichten des Weichkörpers, bezw. des dorsalen Teiles desselben von der Außenseite, machen die durchschimmernden Gonaden (*K*) nicht den Eindruck von typischen *Ctenicella*-Gonaden. Das liegt aber wohl nur daran, daß in diesen Abbildungen nur ein Teil der Gonaden sichtbar ist. In der Fig. 1^4 jener Taf. VII, die eine linksseitige Gonade in voller Ausdehnung und von der Innenseite zeigt, tritt die typische *Ctenicella*-Gestaltung deutlich hervor, der distale Teil eines walzenförmigen, gegen das Mündungsende etwas verschmälerten Ovariums (*s*), dessen proximaler Teil von einer plattenförmigen Hode (*K*) überdeckt und rings überragt wird.

Die einzige meiner Ansicht nach bedeutsame Abweichung der *Ct. dione* von der Organisation des engsten Typenkreises der Gattung liegt in der Gestalt der Dorsalfalte, nach Savigny bei seiner Molgulide »un feuillet très simple« (l. c. 1816, p. 155, Taf. VII Fig. 1 *d*), während sie im engen *Ctenicella*-Kreise am Rande gezähnt ist. Huntsman (l. c. 1912, p. 142) glaubt die Savigny'sche Angabe auf einen Beobachtungsfehler (»due to faulty observation«) zurückführen zu sollen. Ich meinerseits teile diese Ansicht nicht. Savigny's Angaben sind im allgemeinen nachweislich sehr zuverlässig, und hier liegt eine durch klare Abbildung klargestellte positive Angabe vor. Ich bin der Meinung, daß hier sehr wohl eine Abweichung vom Bau des engen Typenkreises vorliegen mag, weicht doch *Ct. hupferi* (Mich.)[1] in gleicher Weise von jenem Formenkreise ab.

Die Überlegungen bei der Prüfung der Savigny'schen Molgulide vermindern nicht den schon 1915 (l. c. p. 368) von mir geäußerten Zweifel an der Durchführbarkeit der Hartmeyer'schen engen Gattungssonderung. Es handelt sich bei den typischen *Ctenicella*-Arten ja zweifellos um eine Verwandtschaftsgruppe. Aber die Übergänge von dieser engeren Gruppe zu den übrigen Gruppen (typischen *Molgula*- und *Molgulina*-Arten) sind doch recht zahlreich und meiner Ansicht nach zumal auch sehr vielfältig. Eine reinliche Sonderung ohne Aufnahme vieler Ausnahmefälle in die Diagnosen erscheint mir kaum möglich. Vielleicht wäre es doch richtiger, diese verschiedenen offenbaren Verwandtschaftskreise als »Gruppen« zu behandeln, nicht als Gattungen, die einer schärferen diagnostischen Umschreibung bedürfen.

---

1 *Molgula hupferi* Michaelsen 1908, Molgulid. Mus. Hamburg, in: Mt. Mus. Hamburg, XXV, p. 199. — *Ctenicella hupferi,* Michaelsen 1915, Tunic., in: Meeresfauna Westafrikas, I, p. 368.

Fam. Pyuridae.

Neuerdings hat Huntsman[1] es unternommen, die große Gattung *Halocynthia* (von ihm *Tethyum* genannt, von anderen früher als *Cynthia* und *Pyura* bezeichnet) in eine Anzahl kleinerer Gattungen zu zerlegen, und Hartmeyer[2] hat sich ihm hierin angeschlossen. Nur mit Vorbehalt folge auch ich diesen Autoren. Ich halte diese Frage der Zerlegung der Gattung *Halocynthia*, bezw. *Tethyum* s. l., noch nicht für ganz spruchreif. Sie bedarf zur befriedigenden Lösung einer Durcharbeitung auf breiterer Grundlage, als sie Huntsman zur Verfügung stand, hat doch Huntsman im allgemeinen nur kanadische Formen berücksichtigt. Das Huntsman'sche Vorgehen bedeutet auch nicht eigentlich eine Aufteilung der Gattung, sondern nur die Herausnahme einiger anscheinend markanter und zufällig in kanadischen Gewässern durch Arten vertretener Gruppen. Was soll nun aber mit den Arten geschehen, die nicht zu diesen 3 Gruppen, bezw. Huntsman'schen Gattungen gehören, und denen Huntsman durch seine eng gefaßten (meiner Ansicht nach, wenigstens was *Pyura* anbetrifft, viel zu eng gefaßten) Diagnosen den Gattungsnamen genommen hat? Hartmeyer faßt nach einer brieflichen Mitteilung[3] die Sache so auf, daß *Boltenia* und *Tethyum* (jetzt wieder *Halocynthia* zu nennen) als echte kleine Gattungen oder Untergattungen anzusehen seien, während alle übrigen Arten zu der weiten Gattung oder Untergattung *Pyura* zusammenzufassen wären. Die Gattung, bezw. Untergattung *Pyura* würde hiernach von der Huntsman'schen Fassung weit abweichen und eine Sammelgattung mit vielen negativen Charakteren sein, in der die verschiedensten Formen vereint wären. Da ich zur Zeit nicht in der Lage bin, die halbe Arbeit Huntsman's zu einem befriedigenden Abschluß zu bringen, so fasse ich wie Hartmeyer die Gattung *Pyura* als später sinngemäß zu zerlegende Sammelgattung mit dem Typus *Pyura chilensis* Mol. auf, in der alle Arten der alten Gattung (*Halocynthia, Tethyum, Pyura*) s. l. mit Ausnahme der Arten, die in die engeren Gattungen *Halocynthia* (*Tethyum*) und *Boltenia* im Sinne Huntsman's gehören, zu stellen sind.

Gen. Halocynthia Verr. (s. s.).

Wie oben dargelegt, fasse ich die Gattung *Halocynthia* jetzt auch in dem engeren Sinne Huntsman's (= *Tethyum*, Huntsman 1912).

Halocynthia spinosa Sluit.

(Textfig. 4 *a—e*).

1776 »An *Ascidia quadridentata* L.«, Forskål, Icones rer. nat. itin. orient., p. 9, Taf. XXVII Fig. E.
1905 *Halocynthia spinosa* (nom. nud.), Sluiter, Tunic. Gravier Tadjourah, in: Bull. Mus. Paris, p. 112.
1905 — —, Sluiter, Tunic. Gravier Tadjourah, in: Mém. Soc. zool. Fr., XVIII, p. 16, Taf. II Fig. 8—8*d*.
1909 *Pyura spinosa*, Hartmeyer, Tunic., in Bronn, Kl. Ordn. Tierr., p. 1341.
1912 — (*Halocynthia*) *spinosa*, Hartmeyer, Rev. Heller's Ascid. Adria, II, p. 181.

Fundangaben: Gimsah-Bucht; R. Hartmeyer, 11.—17. Jänner 1912 (4 Stücke).
Insel Sinafir; Pola-Exp., 24. April 1896 (2 Stücke).
Ras Abu Somer; Pola-Exp., 15. Februar 1896 (1 Stück).
Port Berenice; Pola-Exp., 24. November 1895 (1 Stück).
Jiddah (Djeddah); Pola-Exp., 7.—8. November 1895 (1 Stück).

Ältere Angaben: Umm el Kyaman (Umm el Jerman), Gimsah-Bucht (nach Hartmeyer).

---

[1] Huntsman, Ascid. Canada, in: Trans. Canad. Inst. IX, p. 135; u. Holosom. Ascid. Westcanada, in: Cont. Canad. Biol. 1906—12, p. 172.

[2] Hartmeyer, Z. Nomenkl. Ascid., in: Zool. Anz., XLI, p. 190.

[3] Es ist mir augenblicklich nicht gegenwärtig, ob Hartmeyer dieser Auffassung schon öffentlich Ausdruck gegeben hat.

Weitere Verbreitung: Golf von Aden, Französ.-Somali, Meteorklippen (»récif du Météore«) (nach Sluiter).

Diagnose: Größte Körperdimension bis etwa 42 *mm*. Bedornung der Körperoberfläche: Größere Hauptdorne, umgeben von einem Kranz von meist 5 oder 6 kleineren Nebendornen.

Mündungsdorne: Gerade, $1^2/_3$—3 *mm* lange Dorne mit vielen, in zirka 3 Wirteln oder unregelmäßig gestellten Nebendornen an den Flanken und zerstreuten winzigen, zahnartigen Stacheln an der Oberfläche.

Innendorne auf dicken warzigen Erhabenheiten, ein meist größerer Hauptdorn und im Umkreise desselben eine größere Zahl (bis 13) schlankere Nebendorne.

Kiemensack mit (9? oder) 10 Falten jederseits, X verkürzt und schmäler.

Leber zweiteilig, zwei hintereinander liegende Querwülste mit dichter, regelmäßiger Längsfältelung. Längsfalten des cardialen Teils glatt, des pylorischen Teils mit je einer dichten Reihe von Leberzotten.

Gonaden zweiteilig, mit zwei schornsteinförmig vorragenden Ausführapparaten.

Erörterung: Obgleich die vorliegenden Exemplare in der Gestalt der Mündungsdorne und vielleicht auch in der Zahl der Kiemensackfalten in geringem Maße von der Originalbeschreibung abweichen, ordne ich sie der *Halocynthia spinosa* Sluit. zu. Die Gestalt der Mündungsdorne schwankt bei meinen Exemplaren etwas, so zwar, daß die Gestalt dieser Organe beim Sluiter'schen Material nur eine geringe Weiterführung der Variabilität derselben darstellt. Auch der Unterschied in der Zahl der Kiemensackfalten bleibt, falls tatsächlich vorhanden, innerhalb des Rahmens einer artlichen Variabilität. Zu *H. spinosa* gehört zweifellos auch das Tier, das Forskål (l. c.) als »an *Ascidia quadridentata* L.« bezeichnet hat. Einzelne Stücke der Pola-Expedition zeigen die gleiche eigentümliche, auf starker Ausstreckung beruhende Gestaltung der Siphonen, wie das von Forskål abgebildete Tier.

Halocynthia spinosa gehört einer engeren Gruppe an, die nach der ältesten dazu gehörenden Art als *H. papillosa*-Gruppe zu bezeichnen ist, und zu der außer *H. spinosa* und *H. papillosa* (Gunn.)[1] noch *H. aurantium* (Pall.),[2] *H. pyriformis* (Rathke)[3] und *H. superba* (Ritter)[4] gehören. Mir steht für eine vergleichende Untersuchung dieser Gruppe ein ziemlich reiches Material zur Verfügung: 1. verschiedene Stücke der *H. spinosa* Sluit. aus dem Roten Meer, 2. einige Stücke der *H. papillosa* (Gunn.) aus dem Mittelmeer (von Nizza, Neapel und Istrien), 3. einige *H. pyriformis* (Rathke) von Tromsø und von der Neufundland-Bank (Originale der *Pyura pectenicola* Mich.), 4. der von Hartmeyer (l. c. 1903, p. 197) erwähnte und mir freundlichst zur Verfügung gestellte eingetrocknete Mantel einer riesigen *H. aurantium* (Pall.) von Nord-Japan und schließlich 5., ebenfalls von Hartmeyer übersandt, eines der von Ritter zu seiner *Cynthia deani* gestellten Stücke von Puget Sound, das ich aber für eine *H. superba* (Ritter) halte.

In der Abgrenzung der Arten dieser engen Gruppe weichen Hartmeyer (l. c. 1903, p. 195) und Huntsman[5] sehr voneinander ab. Man mag Huntsman, der die verschiedenen Arten hauptsächlich nach der Zahl der Gonadenausfuhrgänge sondert, recht geben in der Trennung der von Hartmeyer verschmolzenen Formen *H. pyriformis* (Rathke) vom Nordatlantischen und Arktischen Ozean und *H. aurantium* (Pall.) vom Nordpazifischen Ozean. Ich kann Huntsman aber nicht folgen in der Zusammenfassung sämtlicher pazifischer Formen. Huntsman spricht der Form der Körperoberflächen-Bedornung, die sehr variabel sein soll, eine besondere Bedeutung ab, und das ist meiner Ansicht nach nicht angängig, wenn man auch eine gewisse Variabilität gelten lassen muß. Ein Vergleich der mir zur Verfügung stehenden Formen

---

1 1765 Gunnerus (folgende Abh. in norwegischer Sprache). — 1767 Derselbe, Der Seebeutel, in Drontheim. Ges. Schr. III. — 1877 *Cynthia papillosa*, Heller, Unters. Tunic. Adriat. Mittelm., III, p. 249, Taf. II Fig. 9.

2 1887 *Ascidia aurantium* Pallas, Marina varia nov. rar., II, p. 240, Taf. VII Fig. 38. — 1903 *Halocynthia aurantium* (part.), Hartmeyer, Ascid. Arktis, in Fauna Arctica, p. 195.

3 1806 *Ascidia pyriformis* Rathke, Zool. Dan., IV, p. 41, Taf. CL, VI. — 1903 *Halocynthia aurantium* (part.), Hartmeyer, Ascid. Arktis, in: Fauna Arctica, p. 195.

4 1900 *Cynthia superba* Ritter, Some Ascid. Puget Sound, in: Ann. New-York Ac., XII. p. 590, Taf. XVIII Fig. 1, Taf. XIX Fig. 16—18, Taf. XX Fig. 19.

5 1912, Huntsman, Holosomat. Ascid. West. Canada, p. 173.

lehrt, daß diese Bedornung systematisch bedeutsam ist, zumal, wenn man die bisher bei fast allen Beschreibungen vernachlässigte Bedornung der in die Siphonen eingeschlagenen Zellulosemantel-Falte, die sogenannten Innendorne, sowie die besondere Bedornung an den Körperöffnungen, die sogenannten Mündungsdorne, mit in Betracht zieht. Zweifellos ist die Bedornung der äußeren Körperoberfläche in gewissem Grade variabel. So stehen bei den Originalen meiner *Pyura pectenicola,*[1] die Van Name mit vollem Recht zu der atlantisch-arktischen Form stellt,[2] diese Dorne meist einzeln. Nur ganz vereinzelt finde ich jetzt bei einer Nachuntersuchung meiner Originale mehrere kleine Nebendorne im Umkreis eines der gewöhnlichen Dorne, der Hauptdorne, in einem Falle 5 solcher Nebendorne. Nun sind diese Stücke von der Neufundland-Bank sehr jung, nur etwa 10 *mm* lang, so daß man hier einen Jugendcharakter vermuten könnte. Diese Vermutung wird noch bestärkt durch die Untersuchung eines sehr kleinen, nur etwa 5 *mm* langen Stückes von Tromsø, bei dem ebenfalls fast lediglich einzeln stehende, annähernd gleich große Dorne, nur ausnahmsweise einige wenige (höchstens 2?) kleinere Nebendorne in der unmittelbaren Nachbarschaft eines größeren Dornes gefunden werden. Andrerseits zeigt ein etwa 9 *mm* langes Stück von der Murman-Küste, also ein Stück, das noch etwas kleiner ist als die erwähnten Stücke von der Neufundland-Bank, bereits die typische Dornengruppierung der *H. pyriformis.* Man müßte also, wenn man die einfachere Form der Bedornung bei dieser Art als Jugendzustand deuten will, zum mindesten annehmen, daß sich der Alterszustand in sehr verschiedenen Altersstufen einstellt. Bei *H. papillosa,* die vielfach in ausgewachsenen Exemplaren untersucht wurde, ist die einfachere Form der äußeren Bedornung, bei der sich nur vereinzelt ein oder einige wenige Nebendorne, nie ein Kranz solcher, an einen Hauptdorn anschließt, sicher typisch. Von den Ritter'schen Arten ist meiner Ansicht nach wohl nur *Cynthia deani*[3] mit *Halocynthia aurantium* zu vereinen, nicht aber *Cynthia superba.* Wie oben erwähnt, konnte ich ein Stück dieser Art untersuchen, das Ritter irrtümlicherweise zu *Cynthia deani* gestellt hatte. Dieses Stück zeigt im allgemeinen eine Bedornung, wie sie für *Halocynthia papillosa* (Gunn.) charakteristisch ist, einzeln stehende Hauptdorne, denen nur ausnahmsweise einige (bis 3) kleinere Nebendorne zugesellt sind. In der vorderen Körperpartie, in der Nähe der Körperöffnungen, kommen aber nicht selten auch größere Gruppen von Nebendornen vor. Hier findet man häufig 5 oder gar 6 Nebendorne im Kranz um einen Hauptdorn herumgestellt, und hierauf beruht wohl die Ritter'sche Zuordnung dieses Stückes zu *Cynthia deani.* Daß es sich hier bei der einfachen Bedornung nicht um einen Jugendzustand handelt, geht schon daraus hervor, daß das Original der *C. superba* mit einfacherer Bedornung ein Riesenstück ist. Es ist hauptsächlich ein anderer Umstand, der mich zur Sonderung von *Halocynthia superba* und *H. aurantium* (einschließlich *Cynthia deani*) führt, das ist die Gestaltung der Mündungsdorne und der Innendorne an der Zellulosemantel-Innenauskleidung der Siphonen. Diese sind bei dem von mir als *H. superba* (Ritter) bestimmten Stück vom Puget Sound und bei der durch einen eingetrockneten Zellulosemantel von Nord-Japan (auch von Hartmeyer als *H. aurantium* bestimmt) repräsentierten *H. aurantium* verschieden gestaltet (siehe unten!).

In die folgende Beschreibung der einzelnen Organsysteme von *H. spinosa* mögen eingehendere Vergleiche mit den mir zur Untersuchung vorliegenden verwandten Formen eingeflochten werden.

Beschreibung der *H. spinosa.* Die Körpergestalt ist mehr oder weniger regelmäßig, dickeiförmig, wie das von Sluiter abgebildete Original (l. c. Taf. II Fig. 8), oder kurz-tonnenförmig, oder gedrungener, manchmal plump-kahnförmig, wobei der Egestionssipho wie ein kurzer plumper Schornstein in der Mitte, der ähnlich gestaltete, aber meist dickere Ingestionssipho am Vorderende der eingesenkten Rückenlinie liegt, während bei den gestreckten Formen der dicke Ingestionssipho,

---

[1] Michaelsen, Pyuriden [Halocynthiid]. Naturh. Museum Hamburg, p. 262, Taf. II Fig. 16—19.

[2] Zu *Pyura aurantium* (s. l.) nach seiner Auffassung dieser Art, verschmolzen aus atlantisch-arktischen *Tethyum pyriforme* (Rathke) und dem pazifischen *T. aurantium* (Pall.) (s. s.). — Van Name, Simple Ascid. New England, p. 533.

[3] 1900. Ritter, Some Ascid. Puget Sound, p. 592, Taf. XVIII Fig. 2, 3, Taf. XIX Fig. 21—23.

mehr oder weniger scharf vom eigentlichen Körper abgesetzt, den vorragenden Pol bildet, und der Egestionssipho, mehr oder weniger weit vom Ingestionssipho divergierend, an der Rückenseite steht. Die äußeren Siphonen sind mehr oder weniger ausgestreckt, bei einigen Stücken so weit, daß die sonst im Innern der Siphonen liegende Partie der Innendorne ganz frei zu liegen kommt, und zwar auf der Abstutzungsfläche der Siphonen innerhalb des den Rand der Abstutzungsfläche besetzenden, zu einem Quadrat ausgezogenen Kranzes der Mündungsdorne. Ein Stück mit derart weit ausgestreckten Siphonen, wie sie sich in dem Material der Pola-Expedition vereinzelt finden, lag auch der Abbildung Forskål's (l. c. 1776, Taf. XXVII Fig. 2) zugrunde.

Dimensionen. Wie schon Hartmeyer feststellte, erreicht *H. spinosa* eine viel bedeutendere Körpergröße als das Sluiter'sche Original, werden manche Stücke doch bis 42 *mm* lang, abgesehen noch von wurzel- oder stielartigen Fortsätzen.

Die Körperoberfläche ist bei den kleineren Stücken im allgemeinen eben, so bei den Originalen der Art, sowie bei den Stücken von *H. papillosa, H. pyriformis, H. superba* und *H. aurantium*, die mir vorliegen. Bei größeren Stücken von *H. spinosa* ist jedoch manchmal die ganze Körperoberfläche durch quer verlaufende Furchen, Ringelfurchen, und dazwischen liegende wulstige Erhabenheiten uneben gemacht. An den äußeren Siphonen setzt sich diese Querfurchung, bezw. Ringelung als gesonderte Siphonenringelung fort. Die Körperoberfläche ist im allgemeinen rein, jedoch bei einem großen Exemplar an einem großen Teil der rechten Seite mit einer krustenförmigen Didemnide bewachsen.

Die Körperöffnungen sind stets beide deutlich vierlappig, bezw. kreuzförmig eingeschnitten. Hierin liegt meiner Ansicht nach ein bedeutsamer Unterschied zwischen dieser Art und *H. papillosa*; wenigstens bei den mir vorliegenden Stücken der letzteren Art hat die Egestionsöffnung stets die Form eines glatten Querspaltes, und das entspricht auch allen positiven Angaben über diese Art. Hartmeyer will auf Grund einer Angabe Heller's (l. c. 249: erstere [Ingestionsöffnung] stets vierlappig, letztere [Egestionsöffnung] häufig querspaltig) diesen Charakter der *H. papillosa* nicht als konstantes Merkmal (Unterschied gegen *H. aurantium*) gelten lassen. Aber aus Heller's Angabe geht keineswegs hervor, daß die Egestionsöffnung der *H. papillosa*, soweit sie nicht spaltförmig ist, nun kreuzförmig, bezw. vierlappig sei. Es mögen Heller lochförmige oder ovale Egestionsöffnungen vorgelegen haben. Es bedarf jedenfalls noch einer positiven Angabe über die abweichende, nicht querspaltartige Gestalt der Egestionsöffnung bei einigen *H. papillosa.*

Bedornung der Körperoberfläche: Die Bedornung der äußeren Körperwand besteht bei *H. spinosa* aus durchschnittlich etwa 0·4 *mm* langen, schlank kegelförmigen Hauptdornen, die von einem Kranz durchschnittlich etwa halb so langer Nebendorne, im Maximum 7, umstellt sind. Jede Dornengruppe steht auf einer warzenförmigen Erhabenheit der Körperoberfläche. Die Zahl der Nebendorne in einer Gruppe entspricht nach meinen Befunden nicht genau den Angaben Sluiter's und Hartmeyer's, insofern sie vielfach geringer als 5, häufig nur 3 und manchmal noch weniger beträgt (nach Sluiter »5 à 7«, nach Hartmeyer 5—7 [selten mehr als 5]). Die Sechszahl der Nebendorne ist bei meinem Material nicht gerade selten.

Mündungsdorne (Textfig. 4 *a—d*): Die größeren Dorne im Umkreis der Körperöffnungen sind in gewisser Hinsicht variabel, im allgemeinen viel plumper, als sie von Sluiter dargestellt worden sind (l. c. Taf. II Fig. 8 und 8 *d*); doch zeigen manche Stücke gewisse Hinneigungen zu dieser Gestaltung, so daß sich dieselbe nur als ein bei keinem meiner Stücke erreichtes Extrem der Variabilitätenreihe darstellt. Bei mittelgroßen Stücken sind die Mündungsdorne etwa $1^2/_3$—3 *mm* lang und dicht über der Basis etwa $^1/_2$ *mm* dick. Die Maximalangabe (3 *mm* Länge) bezieht sich auf die Sluiter'sche Originalangabe. Der längste bei meinem Material beobachtete Mündungsdorn war ungefähr $2^1/_2$ *mm* lang. Die Mündungsdorne sind gerade gestreckt, im allgemeinen ziemlich plump, am Ende des distalen Viertels noch etwa $^2/_3$ so dick wie an der Basis. Manchmal sind sie seitlich abgeplattet und erscheinen dann (Textfig. 4 *b*) in der Kantenansicht viel schlanker als in der Flächenansicht. Ich

vermute, daß die Abbildung des anscheinend sehr schlanken Mündungsdornes vom Sluiter'schen Original (Textfig. 4 *a* und Sluiter, l. c. Taf. II Fig. 8 *d*) eine solche Kantenansicht darstellt. Sehr charakteristisch, aber nach Zahl und Anordnung sehr variabel, erscheint die Ausstattung der Mündungsdorne mit Nebendornen. Die Nebendorne sind schlank kegelförmig bis klauenförmig, durchschnittlich etwa 0·3 *mm* lang, ziemlich frei schräg abstehend. Ihre Zahl schwankt nach meinen Beobachtungen zwischen 5 und 28 (Textfig. 4*b* und 4*d*). Die geringen Zahlen des Minimalfalles und der ihm nahestehenden Fälle sind jedoch selten. Immerhin genügen sie, um die Sluiter'sche Originalangabe (11 Nebendorne an dem abgebildeten Mündungsdorn) in die Variabilitätsreihe einzuschließen. Bei regelmäßigerer Anordnung (Textfig. 4 *c*) stehen die Nebendorne in 2—4 ungefähr gleich weit voneinander entfernt liegenden Wirteln. Diese Anordnung erfährt jedoch häufig Störungen. Die Wirtel zerreißen einseitig und werden durch Verzerrung zu einem Spiralumgang, oder sie teilen sich in verschieden hoch stehende Halbwirtel, oder sie lösen sich fast ganz auf und gehen in eine zerstreute Stellung der Nebendorne über, bei der nur einige in kleinen Querreihen verbleibende Nebendorne noch an die ursprüngliche Wirtelanordnung erinnern (Textfig. 4 *d*). Bei Abnahme der Zahl der Nebendorne erfahren auch die Wirtel eine Reduktion, u. zw. im Extrem bis auf die Zweizahl, bei der also die Nebendorne gegenständig angeordnet erscheinen. Der von Sluiter abgebildete Mündungsdorn (Textfig. 4 *a*) stellt demnach den Fall dar, bei dem 3 Wirtel der Nebendorne auf die Zweizahl zurückgeführt sind, während sich der 4., basale fünfzählige Wirtel in zwei Teile mit 2 und 3 Einzeldornen gespalten hat. Bei meinem Material, soweit es daraufhin untersucht wurde — ich habe natürlich nur einen ganz geringen Teil der Mündungsdorne näher untersuchen können —, zeigte nur der Mündungsdorn mit Minimalzahl der Nebendorne (Textfig. 4 *b*) eine gegenständige Anordnung von Nebendornen, u. zw. nur in dem distalen der beiden Wirtel. Außer diesen Nebendornen zeigen die Mündungsdorne noch eine Besetzung mit weitläufig zerstreuten winzigen, schmalen, im Profil ziemlich plump erscheinenden Zähnchen, deren Spitze distalwärts übergeneigt ist, und deren obere Kante als Längsrippe noch eine Strecke basalwärts am Mündungsdorn herabläuft. (Sluiter hat diese leicht zu übersehenden Zähnchen nicht erwähnt; doch glaube ich annehmen zu dürfen, daß sie auch an dem Originalstück vorhanden sind.)

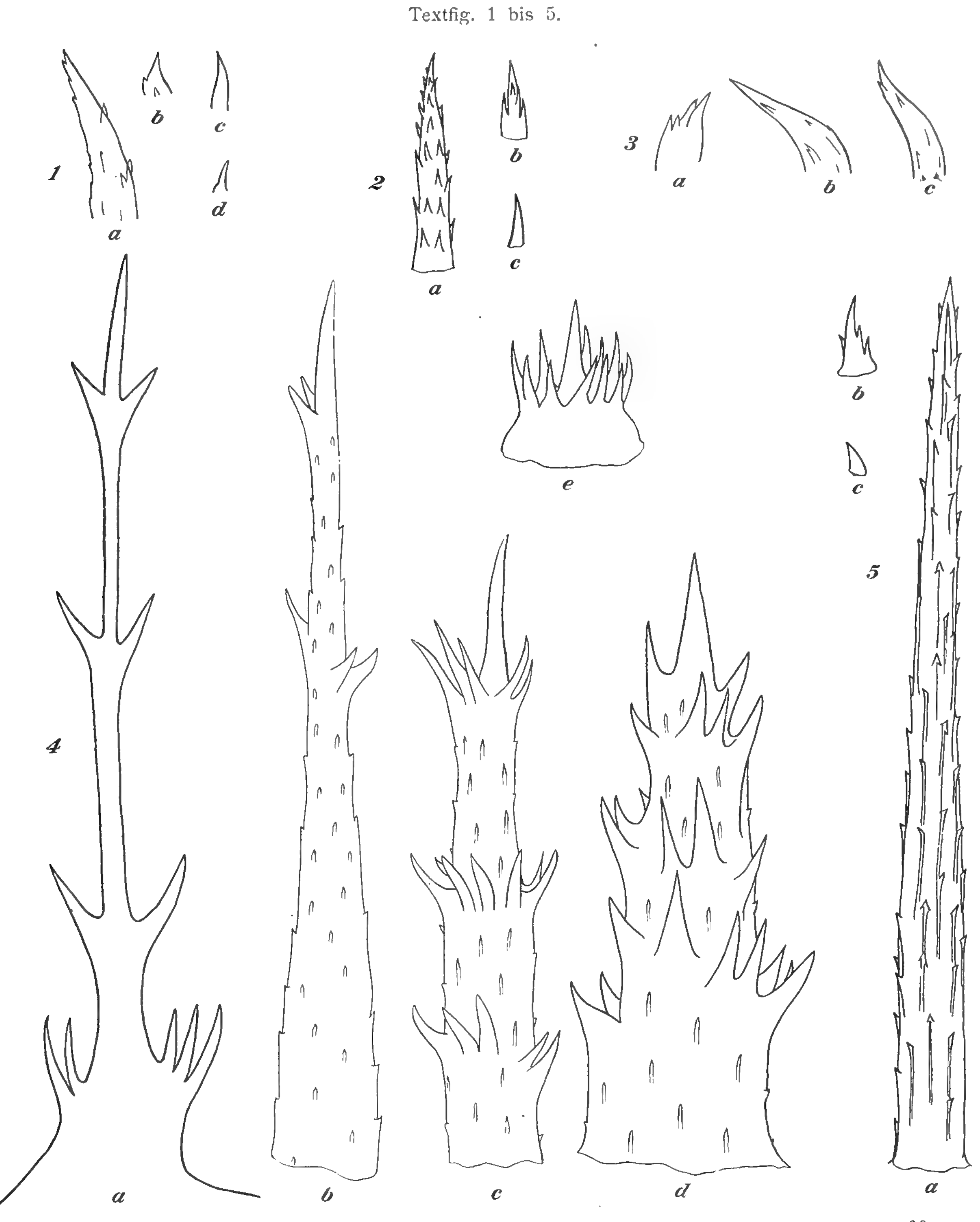
Interessant schien mir eine Vergleichung dieser Mündungsdorne der *H. spinosa* mit denen der anderen Arten dieser Artengruppe. Ein Exemplar der *H. papillosa* von Istrien hat schlank kegelförmige Mündungsdorne von etwa 2·6 *mm* Länge und 0·2 *mm* Dicke an der Basis (Textfig. 5 *a*). Diese Mündungsdorne entbehren eigentlicher Nebendorne, wie sie für *H. spinosa* charakteristisch sind, gänzlich und tragen nur ziemlich gleichmäßig über die ganze Oberfläche zerstreut sehr kleine, schlank kegelförmige Zähnchen, die der Oberfläche des Mündungsdornes so eng angeschmiegt und angewachsen sind, daß nur ihre distalwärts zeigende Spitze spitz schuppenartig schwach absteht, während ihre Außenkante als Längsrippe ziemlich weit basalwärts am Mündungsdorn herabläuft. Diese Spitzchen sind zweifellos den zerstreuten Spitzchen an den Mündungsdornen der *H. spinosa* homolog.

Für die Untersuchung der *H. pyriformis* diente mir vor allem ein ungefähr 32 *mm* langes und fast ebenso dickes Exemplar von der Murman-Küste. Auch *H. pyriformis* besitzt, wie ich bereits früher [1] festgestellt habe, vergrößerte, borstenförmige Mündungsdorne, die jedoch bei weitem nicht die Größe homologer Organe von *H. spinosa* und *H. papillosa* erreichen. Ein Mündungsdorn meines arktischen Untersuchungsobjektes (Textfig. 2 *a*), der *H. pyriformis* von der Murman-Küste, ist nur etwa 0·7 *mm* lang bei einer basalen Dicke von etwa 0·12 *mm*. (Ein Mündungsdorn des sehr kleinen Stückes von der Neufundland-Bank (*Pyura pectenicola*) war nur 0·39 *mm* lang). Während die Bedornung der äußeren Körperoberfläche von *H. pyriformis* der von *H. spinosa* ähnelt, gleichen die Mündungsdorne in Gestalt und Bedornung mehr denen von *H. papillosa,* insofern keine eigentlichen Nebendorne vorkommen, sondern nur zerstreute, distalwärts geneigte Spitzchen; doch sind diese Spitzchen

---

[1] Als *Pyura pectenicola,* l. c. 1908, p. 264, Taf. II Fig. 18.

Textfig. 1 bis 5.



Mündungs- und Innendorne verschiedener Arten der *Halocynthia papillosa*-Gruppe; sämtlich $\frac{60}{1}$.

Textfig. 1. *H. superba* (Ritter), nach einem von Ritter als *Cynthia deani* Ritter bestimmten Stück; *a* = Mündungsdorn, *b*—*d* = Innendorne aus der äußersten, mittleren und innersten Zone.

Textfig. 2. *H. pyriformis* (Rathke), Stück von Tromsø; *a* = Mündungsdorn, *b* und *c* = Innendorne der äußeren und der innersten Zone.

Textfig. 3. *H. aurantium* (Pall.), Stück von Nord-Japan; *a* = fraglicher Mündungsdorn (Übergangsdorn?), *b* = fraglicher Mündungsdorn (äußerster Innendorn?), *c* = Innendorn.

Textfig. 4. *H. spinosa* (Sluit); *a*—*d* = Mündungsdorne, *a* des Originals von Djibouti (nach Sluiter), *b* eines Stückes von Jiddah, *c* eines Stückes von Insel Sinafir, *d* eines Stückes von Gimsah-Bucht, *e* = Innendorn mit Nebendornen.

Textfig. 5. *H. papillosa* (Gunn.), Stück von Istrien; *a* = Mündungsdorn, *b* und *c* = Innendorne der äußeren und der innersten Zone.

verhältnismäßig größer und weiter abstehend als bei *H. papillosa,* so daß sie gewissermaßen den Beginn eines Überganges zur Bildung eigentlicher Nebendorne darstellen.

Von *H. aurantium* konnte ich einen eingetrockneten Zellulosemantel, an dem noch die in den Ingestionssipho eingeschlagene Innenauskleidung mit den Innendornen hing, untersuchen (eines der Hartmeyer'schen Stücke von Nordjapan). Die äußere Bedornung, überall deutliche Hauptdorne mit einem Kranz von meist 5 oder 6 kleineren Nebendornen, gleicht der von *H. pyriformis.* Lange, deutlich ausgeprägte Mündungsdorne konnte ich nicht auffinden, trotzdem der Mundrand anscheinend unverletzt war. Die am Rande der Körperöffnung liegenden Dorne (Textfig. 3 *b*) waren kaum größer als die zunächst liegenden Innendorne, nämlich etwa 0·45 *mm* lang bei einer basalen Dicke von etwa 0·13 *mm*; sie können kaum als besondere Mündungsdorne angesprochen werden; doch fanden sich außerhalb des Randes einige etwas kürzere, kegelförmige, ungefähr 0·25 *mm* lange und 0·13 *mm* dicke Dorne, die an einer Seite unterhalb der Hauptspitze einige Nebenspitzen trugen (Textfig. 3 *a*). Diese Dorne machen den Eindruck, als bildeten sie einen Übergang von der Bedornung der Körperoberfläche zu den etwas länglichen Innendornen (Heraufrückung der Nebendorne auf die Flanken des Hauptdornes). Vielleicht sind diese schräg kegelförmigen Übergangsdorne als Homologa von Mündungsdornen anzusprechen. Einzelne ähnlich gestaltete Dorne an diesem Mundrand machten den Eindruck, als seien sie abgeschliffen; doch ließ sich das nicht genau erkennen. Es ist aber jedenfalls mit der Möglichkeit zu rechnen, daß ursprüngliche längere Mündungsdorne vorhanden waren, aber durch Abscheuerung zerstört worden sind. Für das Ritter'sche Material, das zu *H. aurantium* zu stellen ist (*Cynthia deani* Ritter), liegen leider keine Angaben über Mündungs- und Innendorne vor. An den Abbildungen zweier Exemplare der *Cynthia deani* (l. c. 1900, Taf. XVIII Fig. 2, 3) ist keine Spur von Mündungsdornen zu erkennen. Das spräche für das Fehlen deutlich ausgeprägter, größerer Mündungsdorne bei dieser Art, stellt dies Verhältnis aber wohl ebensowenig sicher, wie das anscheinende Fehlen an dem von mir untersuchten nordjapanischen Stück. Es bedarf also noch einer Feststellung hierüber.

H. superba, deren Bedornung der Körperoberfläche (wie schon oben bestätigt) an *H. papillosa* erinnert, aber in der vorderen Körperpartie sich der von *H. aurantium* und *H. spinosa* nähert, besitzt sowohl an der Ingestionsöffnung wie an der Egestionsöffnung deutliche vergrößerte Dorne. Ritter erwähnt nur die atrialen Dorne, und auch in der Abbildung des 150 *mm* langen Originals (l. c. 1900, Taf. XVIII Fig. 1) sind nur an der Egestionsöffnung solche Dorne von schätzungsweise 1 *mm* Länge zu erkennen. Ich vermute, daß bei diesem Originalstück die Mündungsdorne der Ingestionsöffnung eingebogen waren. Bei dem mir vorliegenden etwa 45 *mm* langen Stück bildeten die Mündungsdorne (Textfig. 1 *a*) am Rande jeder der beiden Körperöffnungen einen scharf ausgesprochenen Kranz von etwa 0·5 *mm* langen und an der Basis etwa 0·13 *mm* dicken kegelförmigen Dornen, die an ihrer Oberfläche einige wenige, winzige, eng anliegende Spitzchen, keine eigentlichen Nebendorne, tragen.

Innendorne. Eine ganz besondere Form zeigt bei *H. spinosa* die von Sluiter nicht erwähnte Bedornung der Oberfläche des Zellulosemantels innerhalb des Kranzes der großen Mündungsdorne, an dem meist in die Siphonen eingezogenen, manchmal auch herausgestreckten Teil des Zellulosemantels, deren Elemente als Innendorne (früher Schuppendorne [1]) zu bezeichnen sind. Die Innen-

---

[1] Diese Innen- oder Schuppendorne an der Innenauskleidung der Siphonen sind offenbar den Dornen der äußeren Körperoberfläche homonym, gehen sie doch häufig ohne schärferen Absatz in diese über. Daß die Innendorne häufig basal in eine schuppenförmige, verbreiterte und abgeplattete Partie auslaufen, beruht wohl hauptsächlich darauf, daß der ihnen zur Grundlage dienende Zellulosemantel im Innern der Siphonen in diesen Fällen sehr viel dünner und zarter ist als der äußere Zellulosemantel, an dem die Außendorne sitzen. Die Innendorne bedürfen demnach zu ihrer Befestigung meist einer viel breiteren Basis. Da jedoch in vielen Fällen eine derartige schuppenförmige Basalpartie den Innendornen fehlt, so halte ich die früher gewählte Bezeichnung »Schuppendorne« jetzt nicht mehr für anwendbar. Auch die Bezeichnung »Siphonaldorne«, an die gedacht werden könnte, halte ich nicht für praktisch, da sie auch auf die sogenannten »Mündungsdorne« am Rande der Körperöffnungen,

bedornung ähnelt der Form, wie man sie in der Bedornung der äußeren Körperoberfläche findet, ohne ihr jedoch vollkommen zu gleichen. Es findet sich an der Zellulosemantel-Innenauskleidung der Siphonen auf gedrängt stehenden, durchschnittlich etwa 0·35 *mm* dicken warzenförmigen Erhabenheiten im Umkreis eines auf der Kuppe stehenden Hauptdornes ein Kranz von zahlreichen Nebendornen, vielfach deren bis 13 (Textfig. 4*e*). Diese Nebendorne sind im allgemeinen viel länger und schlanker als die Nebendorne bei der Bedornung der äußeren Körperoberfläche, manchmal fast so lang wie der dazu gehörende Hauptdorn. Es kommen auch häufig Unregelmäßigkeiten vor; so finden sich manchmal einzelne akzessorische Nebendorne innerhalb oder außerhalb des eigentlichen Kranzes, oder der Kranz löst sich in eine Spirallinie auf. Bei keiner der anderen Arten der hier erörterten Artengruppe habe ich einen derartigen Charakter der Innenbedornung gefunden, nämlich ein Zurückgehen auf die Art der Bedornung des äußeren Zellulosemantels, von der die Innendorne durch ganz anders geartete Mündungsdorne getrennt sind.

Bei *H. papillosa* (Stück von Istrien näher untersucht) gehen die Mündungsdorne ohne scharfen Absatz in die dicht gedrängt und regellos an der Innenwand der Siphonen stehenden Innendorne (Textfig. 5 *b* und *c*) über, indem sie schnell kleiner und weniger schlank werden, und zumal ihre Länge, wie die Zahl der an ihren Flanken sitzenden Spitzchen beträchtlich abnimmt. Die Gestalt der Innendorne wird schnell klauenförmig (Textfig. 5 *b*). Mit der Zahl der an ihnen sitzenden Spitzchen nimmt aber nicht zugleich deren Größe ab, und da diese Spitzchen im Verhältnis zu den Innendornen etwas gedrungener werden und weiter abstehen, so nehmen sie mehr und mehr das Aussehen von Nebendornen an. Meist geht die Zahl dieser Spitzchen oder Nebendorne bis auf 2 zurück. Vielfach trifft man auch Innendorne mit nur 1 Nebendorn. Nur ganz innen, am tiefsten Grunde des Siphos, trifft man ganz einfache, klauenförmige Innendorne ohne Nebendorn an (Textfig. 5 *c*).

Bei *H. pyriformis* (Stück von der Murman-Küste näher untersucht), die in der Gestaltung der äußeren Zellulosemantel-Bedornung so sehr der *H. spinosa* gleicht, ähneln die Innendorne auffallenderweise mehr denen der *H. papillosa*. Die Mündungsdorne gehen bei *H. pyriformis* ohne Absatz, und zwar viel langsamer als bei *H. papillosa*, in die typische Form der Innendorne über, indem sie allmählich kleiner und mehr klauenförmig werden. Ihre Flankenspitzchen nehmen an Zahl, nicht aber an Größe, ab und allmählich die Gestalt eigentlicher an einem Hauptdorn sitzender Nebendorne an (Textfig. 2 *b*). Schließlich, und zwar viel früher als bei *H. papillosa*, gehen die zuletzt mit nur wenigen Nebendornen ausgestatteten Innendorne bei *H. pyriformis* in einfach und schlank klauenförmige Dorne (Textfig. 2 *c*) über, so daß eine Zone von beträchtlicher Breite lediglich mit solch einfachen Innendornen besetzt ist. Bei *H. pyriformis* findet ein Zurückgehen der Innenbedornung zur Gestaltung der Bedornung der äußeren Körperoberfläche nicht statt. Die Innendorne stehen ganz regellos und zeigen nicht die Spur einer Kranzanordnung von Nebendornen im Umkreis eines Hauptdornes.

Bei *H. aurantium* (ausgetrockneter Zellulosemantel von Nordjapan) finden sich mäßig schlanke kegelförmige Innendorne von durchschnittlich etwa 0·4 *mm* Länge und 0·1 *mm* basaler Dicke, die an den Flanken eine kleine Zahl winziger, eng anliegender oder schwach abstehender Spitzchen, keine eigentlichen Nebendorne, tragen (Textfig. 3 *c*). Die Größe und die Gestalt der Innendorne ändern sich proximalwärts kaum; doch finden sich in der innersten Partie des Siphos einige kleinere einfache Dorne von etwa 0·25—0·35 *mm* Länge zwischen den normal großen.

Bei *H. superba* gehen bei dem mir vorliegenden, zirka 45 *mm* langen Stück die Mündungsdorne ohne Absatz, aber schnell in die Innendorne über. Diese sind viel einfacher und kleiner als die Mündungsdorne, in der Mitte des Siphos nur etwa 0·16—0·12 *mm* lang, mehr oder weniger schlank kegelförmig, ganz einfach oder mit sehr wenigen kleinen Spitzchen an den Flanken oder an der Basis

---

an der Kuppe der äußeren Siphonen, angewandt werden könnte. Ich bezeichne die Dorne an der Zellulosemantel-Innenauskleidung der Siphonen deshalb als »Innendorne«, im Gegensatz zu den »Mündungsdornen« und den »Außendornen« der äußeren Körperoberfläche.

besetzt (Textfig. 1 *b*). Die innersten Dorne nehmen noch an Größe ab, fand ich doch einige von nur etwa 0·10 *mm* Länge. Diese sind stets ganz einfach (Textfig. 1 *c* und *d*). Die Innendorne stehen auch bei *H. superba* ganz unregelmäßig zerstreut, ohne die Andeutung einer Kranzanordnung, wie sie für *H. spinosa* charakteristisch ist.

Färbung: Die lebenden Tiere der *H. spinosa* sind nach einer Angabe Hartmeyer's leuchtend weinrot. Die Färbung der konservierten Tiere ist weißlich oder grau oder hell schwefelgelb, manchmal mit bräunlichem Anflug.

Der Zellulosemantel ist bei dem größten Exemplar ungefähr 1—2 *mm* dick, fest lederartig, zäh und biegsam.

Der Weichkörper haftet nur an den Körperöffnungen fest am Zellulosemantel.

Der Innenkörper ist mit sehr kräftiger, von den Körperöffnungen ausstrahlender und unvermindert bis zum Endostyl hinreichender Längsmuskulatur ausgestattet, die sich nach unten in breite, schwach divergierende Bänder zerteilt. Die Ringmuskulatur ist nur an den Siphonen und in ihrem nächsten Umkreis kräftig ausgebildet. Zahlreiche verschieden große Endocarpe sitzen an allen sonst freien Räumen des Innenkörpers.

Die Mundtentakel sollen nach Sluiter fast gleich sein und nur 16 zählen. Mein näher untersuchtes Exemplar hatte mindestens die doppelte Anzahl (zirka 34); auch waren sie an Größe sehr verschieden, im allgemeinen abwechselnd verschieden groß, aber nicht ganz regelmäßig abwechselnd, und die einer Ordnung unter sich wieder recht verschieden groß. Die kleinsten Mundtentakel sind einfach- und weitläufig-gefiedert, mit verhältnismäßig kleinen, stummelförmigen Fiedern. Die größten sind zweifach gefiedert, indem die verhältnismäßig kleinen, in zwei weitläufigen Zeilen stehenden, keilförmig plattgedrückten, dreiseitigen Fiedern 1. Ordnung ihrerseits einige wenige stummelförmige Fiedern 2. Ordnung tragen. Die geringe Zahl und Kleinheit der Fiedern haben die Mundtentakel meines Untersuchungsobjektes mit denen des Originals gemein.

Das Flimmerorgan ähnelt bei meinem Untersuchungsobjekt dem des Originals; doch scheinen die eingerollten Enden des hufeisenförmigen, nach vorn offenen Flimmergrubenspaltes nicht ganz so eng eingerollt zu sein wie bei dem Original.

Im Bau des Kiemensackes scheinen bedeutsame Unterschiede zwischen meinem Stück und dem Original zu bestehen; doch bleibt es fraglich, inwieweit hier Variabilität und verschiedene Körpergröße (mein Untersuchungsobjekt ist 40 *mm* lang, das Original nur 28 *mm*) mitspielen. Das Original soll nur 9 Kiemensackfalten jederseits aufweisen, und die Falten I neben der Dorsalfalte sollen schmäler als die übrigen sein. Ich fand bei meinem Exemplar 10 Falten jederseits, von denen die mittleren am breitesten sind, während sie nach oben und unten an Breite abnehmen. Die obersten Falten I sind wie bei dem Original deutlich schmäler als die Falten II bis IX; aber noch weit schmäler als die Falten I sind bei meinem Stück die überzähligen Falten X neben dem Endostyl. Zugleich sind diese Falten X verkürzt, reichen sie doch vom Beginn des Kiemensackes kaum bis zur Mitte desselben. Trotzdem sind diese Falten X nicht rudimentär zu nennen in dem Sinne, wie diese Bezeichnung sonst gebraucht wird (für fast ganz flache, hauptsächlich durch Zusammendrängung von Längsgefäßen markierte Falten). Es sind scharf zusammengefaltete, deutlich vorragende Blätter, mit einer beträchtlichen Zahl (zirka 9) Längsgefäßen. Die Zahl der Falten ist bei den Arten dieser Gruppe, wie Huntsman für *H. aurantium* (l. c. p. 174) nachwies, sehr variabel. So besitzt auch *H. papillosa* nach Heller (l. c. p. 250) 8 Falten jederseits, während Hartmeyer (l. c. 1903, p. 197) als Regel 9 Falten jederseits angibt, mit dem Zusatz, daß die neunte Falte teilweise rudimentär werden kann. Ich fand bei meinem Stück der *H. papillosa* von Istrien rechterseits sogar 10 Falten (linksseitig 9). Allerdings war diese Falte X sehr kurz, vom Beginn des Kiemensackes nur bis etwa zum Ende des vordersten Achtels der Länge der Endostyls reichend und mit nur 5 Längsgefäßen ausgestattet. Auch die Falten IX waren bei diesem Stück stark verkürzt und sehr schmal, rechterseits mit 14 Längsgefäßen und etwa bis zum Ende des zweiten Fünftels der Endostyllänge reichend,

linkerseits mit 10 Längsgefäßen und ungefähr bis zum Ende des vordersten Sechstels der Endostyllänge reichend. Die Zahl der Längsgefäße ist auf den Falten meines Stückes der *H. spinosa* viel größer als bei dem Original. Bei diesem sollen sich auf jeder Falte (»sur chaque pli«) 10 Längsgefäße finden. Ich kann kaum annehmen, daß Sluiter hiermit die Zahl der sämtlichen Längsgefäße an einer Falte meinte. Der Unterschied gegen mein Exemplar wäre gar zu groß. Vermutlich zählte Sluiter hierbei nur die auf der sichtbaren Oberseite der Falten verlaufenden Längsgefäße. Da aber die der Kiemensackwand angelegte Unterseite fast ebenso viele Längsgefäße trägt wie die Oberseite, so wäre die angegebene Zahl fast zu verdoppeln. Bei dem großen Stück von der Gimsah-Bucht fand ich folgende Zahlenverhältnisse der Längsgefäße: Die Unterseite der Falten trägt fast ebenso viele Längsgefäße wie die Oberseite. Die Längsgefäße der Faltenzwischenräume sind nicht deutlich von denen der Faltenoberseiten abzugrenzen und jedenfalls nur sehr gering an Zahl. Man könnte einigen Faltenzwischenräumen höchstens 2 Längsgefäße zuerkennen, doch auch bei diesen bleibt es fraglich, ob man sie nicht schon als auf der Falte verlaufend ansprechen soll. Nur die Räume zwischen der Dorsalfalte und den Falten I sind mit je 5 Längsgefäßen deutlich von den Oberseiten dieser Falten abzugrenzen. Ich fand bei meinem Untersuchungsobjekt linkerseits folgende Zahlenverhältnisse, wobei ich die fraglichen Längsgefäße nicht den Faltenzwischenräumen, sondern der Oberseite der ventralwärts folgenden Falte zuteile. Die Zahlen von den Faltenoberseiten würden bei anderer Anschauung zum Teil um 1 oder 2 verringert werden müssen.

D. 5 (21 [9+12]) 0 (27 [13+14]) 0 27 [14+13]) 0 30 [16+14]) 0 (28 [15+13]) 0 25 [13+12]) 0 (22 [11+11]) 0 (18 [10+8]) 0 (15 [8+7]) 0 (9 [5+4]) 0 E.

Die Quergefäße zeigen im allgemeinen drei verschiedene Dicken. Zwischen den sehr dicken 1. Ordnung stehen meist 7 sehr viel dünnere, die mit den ganz feinen parastigmatischen der 3. Ordnung abwechseln. Die Größen und Anordnungsverhältnisse der Quergefäße zeigen aber sehr viele Unregelmäßigkeiten. Die Kiemenspalten sind lang gestreckt und liegen zu 5 oder 6, seltener zu 7 oder 8 in den breitesten Maschen.

Die Dorsalfalte besteht aus einer dichten Reihe schlanker, fadenförmiger Züngelchen. Eine lockere Längsreihe etwas kleinerer, aber sonst ebenso gestalteter Züngelchen verläuft rechterseits parallel der Dorsalfalte. Diese akzessorischen Züngelchen stehen wenigstens zum größeren Teil am Ende von Quergefäßen 2. Ordnung; doch ist nicht jedes dieser Quergefäße mit einem Züngelchen ausgestattet, und andererseits war bei manchem Züngelchen der Zusammenhang mit einem Quergefäß nicht erkennbar. Eine derartige Bildung ist von Ritter bei *H. aurantium (Cynthia deani* Ritter), *H. superba* und *H. papillosa* nachgewiesen (1. c. p. 591, 593, 596 und Taf. XIX Fig. 17 und 23) und soll nach Ritter auch an Wagner's Abbildung von *H. pyriformis*[1] erkennbar sein. Ich konnte bei meinem arktischen Exemplar dieser letzteren Art ebenfalls einige derartige akzessorische Züngelchen erkennen und habe sie auch bei dem von der Neufundland-Bank *(Pyura pectenicola* Mich., 1. c. 1908, p. 266) geschildert.

Am Darm der *H. spinosa,* der eine weit klaffende, gerade nach vorn gehende Schleife mit in weiter Krümmung nach oben-vorn abgebogenen End-Ästen darstellt, ist zunächst die Magenpartie bemerkenswert. Der Magen trägt an der dem Kiemensack zugewendeten Seite zwei dicht hintereinander liegende, etwas schräg gestellte, nicht ganz umfassende Querwülste. Der der Cardia näher liegende Wulst zeigt eine große Anzahl dicht gedrängt liegender schmaler Längsfalten (quer zur Richtung des Wulstes gestellt) mit ganz glatter First. Der dem Pylorus näher liegende Wulst zeigt ebensolche Längsfalten; doch sind deren Firste nicht glatt, sondern mit je einer Reihe schlanker Zotten besetzt, so daß der ganze Wulst dicht zottig erscheint und sich ohne weiteres als Leber ausweist. Da Sluiter keine nähere Angabe über die Organisationsverhältnisse des Darmes macht, so

[1] *Cynthia nordenskiöldi* Wagner, Wirbellosen Weißen Meeres.

bleibt es fraglich, ob das Original in dieser Hinsicht mit meinem Stück übereinstimmt. Eine ähnliche, aber nicht ganz damit übereinstimmende Bildung fand ich bei dem näher untersuchten Stück von *H. papillosa.* Bei dieser Art ist aber der vordere Wulst kaum erhaben und sieht nur wie eine normale, durch enge Längsfältelung modifizierte Magenwandung aus, während der hintere Wulst, die eigentliche Leber, gar keine Längsfältelung besitzt, sondern nur auf glatter, stark aufgeblähter Wandung einen dichten und unregelmäßigen Zottenbesatz zeigt. Auch *H. aurantium* hat nach Huntsman eine aus zwei hintereinander liegenden verschiedenen Teilen bestehende Leber am Magen; doch erscheint es mir nach der Beschreibung und Abbildung (l. c. p. 175, Taf. XXI Fig. 3, Hep. 1 und 2) recht fraglich, ob sie auch im feineren Bau mit der von *H. spinosa* übereinstimmt. Huntsman nennt »the second part«, die eigentliche Leber, »irregularly branched, the lobes rounded«. Sie mag ähnlich gestaltet sein, wie ich sie bei *H. pyriformis* von der Murman-Küste fand. Hier ist die eigentliche Leber ungefähr so lang wie breit, ein zu mehreren rundlich-polsterförmigen Vorwölbungen unregelmäßig aufgeblähter Belag des Magens von blättriger Innenstruktur, der aber äußerlich keine Parallelfaltung und damit auch keine Parallelreihen-Anordnung der feinsten Leberanhänge erkennen läßt. Diese feinsten Leberanhänge sind keine dünnen, frei aufragenden Zotten wie bei *H. papillosa* und *H. spinosa,* sondern mehr oder weniger längliche Bläschen, die nur wenig und mit einer Längsseite, wulstartig vorragen. Den oberen Teil des in Rede stehenden Magenorgans fand ich bei meinem Exemplar von *H. pyriformis* nicht besonders deutlich ausgebildet; doch mag er durch ungünstige Konservierung undeutlicher geworden sein. Er stellte sich als längsfältelige schwache Aufblähung dar, ungefähr so, wie ich es bei *H. papillosa* fand. Die Gestalt des Afters mag bei meiner *H. spinosa* dem Original (nach Sluiter »bord non découpé«) entsprechen. Bei meinem Stück ist der After querspaltig, breit-zweilippig; doch sind die Lippen nicht durch eigentliche Einschnitte, sondern nur durch eine Art Einfaltung abgesetzt. Die innere Lippe, an der mit dem Kiemensack verwachsenen Seite des Enddarmes, ist gerade vorragend, wulstig, glattrandig; die äußere Lippe ist etwas zurückgeschlagen, mit wenigen schwachen und nicht ganz regelmäßigen Einkerbungen, die jedoch vielleicht nur durch schwach faltenartige Vorwölbung der Zwischenpartien vorgetäuscht werden. Bei *H. papillosa* ist der Afterrand, wie ich bestätigen kann, in mehrere ziemlich schlanke Züngelchen zerschlitzt. Bei *H. aurantium* soll er nach Huntsman (l. c. p. 175) in »12—18 irregular blunt lobes« geteilt sein. Ähnlich fand ich ihn bei meinem arktischen Exemplar der *H. pyriformis;* doch beträgt hier die Zahl der sehr unregelmäßigen, sehr verschieden breiten und sehr verschieden weit vorragenden, durch scharfe Einschnitte voneinander gesonderten Afterrandlappen viel weniger als bei Huntsman's *H. aurantium,* nämlich nur 6. Bei meinem Exemplar von der Neufundland-Bank *(Pyura pectenicola,* l. c. p. 266) ist der freie Teil des Afterrandes ungelappt.

Die Gonaden zeigen bei dem näher untersuchten Stück von *H. spinosa* eine Eigentümlichkeit, die ich nur als Abnormität ansehen kann. Es findet sich nämlich rechterseits keine Spur von Geschlechtsorganen, während sie linkerseits ganz normal ausgebildet sind. Man sieht linkerseits zwei wohl ausgebildete Ausführapparate schornsteinartig den oberen Rand des zurücklaufenden Darmschleifen-Astes überragen. Nach unten gehen diese Ausführapparate in je einen polsterförmigen Gonadensack über. Der hintere Gonadensack verbreitert sich nach unten, der vordere wird bald undeutlich (entleert?). Ich vermute, daß diese beiden Gonadensäcke wie bei *H. papillosa* unten miteinander verwachsen. Bei dem Original sollen die Gonaden an jeder Seite eine gelappte Masse darstellen. Aus dieser Angabe ist leider die eigentliche Zahl der Geschlechtsapparate, die bei der nachträglichen Verwachsung der Gonadensäcke nur nach der Zahl der Ausführapparate zu bemessen ist, nicht erkennbar. In der Zahl der Geschlechtsapparate (2 jederseits) scheint *H. spinosa* zusammen mit *H. papillosa* das Minimalextrem der Gruppe zu bilden, während *H. pyriformis* — ich fand bei meinem arktischen Exemplar die angegebenen Zahlen (6 links, 4 rechts) bestätigt — das Maximalextrem und *H. aurantium* mit 3 Geschlechtsapparaten jederseits eine Zwischenstufe darstellt.

Geographische Beziehungen: Die Verbreitungsverhältnisse der *H. papillosa*-Gruppe scheinen mir nicht so einfach zu sein, wie Hartmeyer (Rev. Heller's Ascid. Adria p. 182) sie annimmt, indem er von hypothetischen Stammformen im tropischen indischen Ocean einerseits eine Verbreitung nach Westen (Somaliküste—Rotes Meer—Mittelmeer [*H. spinosa—H. papillosa*]), andrerseits eine Verbreitung nach Osten (bis in den nördlichen Pazifischen Ozean und von hier weiter durch das Beringsmeer [*H. aurantium*] wiederum in östlicher Richtung über Grönland, mit einer dem Labradorstrome folgenden südlichen Abzweigung an die Ostküste von Nordamerika und Spitzbergen bis an die Küste des arktischen Norwegens [*H. pyriformis*]) ableitet. Zustimmen muß ich Hartmeyer allerdings in der Annahme, daß die atlantisch-arktische Form (*H. pyriformis*) ein Entwicklungs- und Verbreitungsextrem darstellt, das von der Mittelmeerform (*H. papillosa*) sich weit entfernt. Doch möchte ich nicht annehmen, daß sich diese Mittelform durch Vermittlung der Rotmeeres-Form (*H. spinosa*) an die pazifischen Formen (*H. aurantium* und *H. superba*) anschlösse, steht die *H. papillosa* doch anscheinend der ostpazifischen *H. superba* näher als der *H. spinosa* vom Roten Meer. Auch die Form des nördlichen Indischen Ozeans und Australiens, *H. crinitistellata* (Herdm.), ist wohl kaum als Vermittlerin zwischen den pazifischen Formen und denen des Mittelmeeres und des Roten Meeres anzusprechen, bildet sie doch anscheinend mit *H. roretzi* von Japan zusammen einen Sonderzweig. Ich meinerseits glaube, daß wir den Pazifischen Ozean als den Entwicklungsherd dieser Formengruppe ansehen müssen, denn hier laufen alle erkennbaren Verwandtschaftsbeziehungen zusammen: *H. aurantium—pyriformis* (pazifisch—arktisch—nordatlantisch), *H. aurantium—spinosa* (pazifisch—nordafrikanisch), *H. superba—papillosa* (pazifisch—mediteran), *H. roretzi—crinitistellata* (pazifisch—indisch—australisch). Vermutlich kommen für die Verbreitung dieser Formen ganz andere Wege in Betracht, als die jetzige Konfiguration von Kontinent und Meer sie darbietet. Meiner Ansicht nach stellt die Besiedelung des Golfes von Aden mit dem Roten Meer und des Mittelmeeres die sekundär genäherten Endpunkte einer dichotomischen Verbreitung dar, die vom Pazifischen Ozean westwärts ging, aber den Indischen Ozean gar nicht berührt zu haben braucht.

Gen. Pyura Mol. (s. strictiore).

1900 *Pyura* (part., ausschließlich Gen. *Boltenia* Huntsman 1912 und Gen. *Tethyum* Huntsman 1912), Hartmeyer, Tunic., in: Bronn, Kl. Ordn. Tierr., p. 1335.

Ich habe oben, unter der Erörterung zur Fam. *Pyuridae*, meine Ansicht über die Aufteilung der alten weitumfassenden Gattung *Halocynthia* (*Tethyum, Pyura*) s. l. dargelegt. Nach der dort auf S. 10 angenommenen Fassung der Gattung *Pyura* (s. strictiore) gehören ihr sämtliche aus dem Roten Meer bekannten Arten der alten Gattung *Halocynthia* (= *Cynthia, Tethyum, Pyura*) (s. l.) mit Ausnahme der oben erörterten *Halocynthia spinosa* Sluit. an.

Pyura pantex (Sav.).

1816 *Cynthia pantex* Savigny, Mém. Anim. s. vertèbr., II[1], p. 90, 146, Taf. VI Fig. 3.
1891 *Cynthia pantex*, Herdman, Rev. Class. Tunic., p. 577.
Non 1885 *Cynthia pantex*, Roule, Rech. Ascid. simpl. Provence, p. 174.
1909 *Pyura pantex*, Hartmeyer, Tunic., in: Bronn, Kl. Ordn. Tierr., p. 1340.
1912 *Pyura pantex*, Hartmeyer, Rev. Heller's Ascid. Adria II, p. 185.

Fundangaben: Umm el Kyaman (Umm el Jerman); R. Hartmeyer, 18—20. Jän. 1902 (1 Stück).
Rás Abu Somer; Pola-Exp., 15. Febr. 1896 (3 Stücke).
Gimsah-Bucht; R. Hartmeyer, 11.—17. Jänner 1902 (mehrere Stücke).

Ältere Fundangaben: Rotes Meer (nach Savigny).

Die Sammlung der Pola-Expedition und die Hartmeyer'sche Sammlung enthalten eine *Pyura*-Art, die mit Sicherheit als *P. pantex* (Sav.) bestimmt werden kann. *P. pantex* stellt sich nach Untersuchung dieser Stücke als eine wohl zu charakterisierende Art dar, die nicht mit der *P. savignyi*

(Phil.)[1] aus dem Mittelmeer und von West-Europa (*Cynthia pantex* Roule, l. c. 1885, p. 174) identisch ist. Schon Hartmeyer stellte 1912 (l. c. p. 185) die Richtigkeit der Roule'schen Annahme in Frage. Ich kann die Savigny'sche Angabe über die Einzahl der Gonaden je einer Seite bestätigen. Da die Savigny'sche Beschreibung lückenhaft ist, so gebe ich im folgenden eine ausführliche Diagnose und Beschreibung.

Diagnose: Körper bis 54 *mm* groß, sitzend; Siphonen klein oder undeutlich.

Körperoberfläche uneben, mit ziemlich unregelmäßiger Felderung, deren Maschenräume flach, pigmentiert sind.

Körperöffnungen mehr als die halbe Körperlänge voneinander entfernt.

Zellulosemantel sehr fest, zäh wie Sohlleder.

Innendorne winzig, erkerförmig, mit halb-elliptischer, vorn breit offener Basis.

Ingestionssipho mit muskulöser Ringfalte.

Kiemensack mit 7 Falten jederseits, die mittleren breiter als die äußeren.

Darm eine sehr weite, weit offene, gerade nach vorn gehende, das vordere Körperende fast erreichende Schleife bildend. Leber mehrteilig; Teilstücke dick-polsterförmig und kurzästig-baumförmig; Leberzotten unregelmäßig gestellt.

Geschlechtsapparate jederseits ein einziges Zwitterorgan mit einem dünnen, ziemlich stark gebogenen ausführenden Mittelstrang und beerenförmig daran sitzenden Geschlechtssäckchen, die im distalen Teil deutlich zweizeilig, proximal unregelmäßig angeordnet sind. Geschlechtsapparat der linken Seite ganz in der Darmschleife.

Beschreibung: Die Körpergestalt ist ungestielt, ellipsoidisch oder mehr oder weniger unregelmäßig, manchmal anscheinend in Anschmiegung an den verfügbaren Winkelraum stark verzerrt oder stark abgeplattet. Äußere Siphonen sind manchmal deutlicher ausgebildet als weit voneinander entfernt liegende, abgestutzt kegelförmige Hervorragungen, die ungefähr so lang wie an der Basis breit sind. Vielfach sind aber äußere Siphonen nicht deutlich zu erkennen.

Bodenständigkeit: Die Tiere sind mit einem meist großen Teil der linken Seite oder der Ventralseite an Korallenäste oder Muschelschalen angewachsen.

Dimensionen: Das größte vorliegende Stück ist stark abgeplattet; seine drei Hauptachsen sind 30, 20 und 8 *mm* lang. Nach Savigny sollen die Tiere 27 bis 54 *mm* groß sein (»Grandeur, 1 à 2 pouces«); seine Stücke waren also im allgemeinen größer als die meinigen.

Die Körperoberfläche ist im allgemeinen sehr uneben, mit mehr oder weniger dick-polsterförmigen und wulstigen Erhabenheiten besetzt. Die Wülste haben vielfach eine Neigung zur Anordnung parallel der Rückenlinie. Im feineren zeigt die Körperoberfläche, zumal in den ebeneren Partien, eine ziemlich regelmäßige Felderung, beruhend auf nicht oder kaum erhabenen rundlichen Polstern oder Schildchen, die durch ein Netzwerk von Furchen voneinander gesondert sind. Die kleinen Polster oder Schildchen sind ganz flach; sie besitzen keine stärker vorragenden Kuppen oder gar Dorne. Die Körperoberfläche ist an vielen Stellen mit Fremdorganismen, Spirorben, Hydrozoen und krustenförmigen Ascidien besetzt, an anderen Stellen nackt und rein.

Die Körperöffnungen sind meist sehr unscheinbar, beim Fehlen äußerer Siphonen kaum ohne weiteres auffindbar, nur bei Tieren mit äußeren Siphonen deutlich in die Augen fallend. Sie sind wie schon Savigny angab, kreuzförmig. Ihre polsterförmig erhabenen vier Lappen sind bei der allgemeinen Unebenheit der Körperoberfläche wenig auffallend. Die Körperöffnungen liegen um mehr als die halbe größte Körperdimension voneinander entfernt (nach Savigny: »écartés«).

Die Färbung ist im allgemeinen hellbraun. Bei genauerer Betrachtung erkennt man, daß die kleinen rundlichen, wenig erhabenen Polster oder Schildchen leuchtend braun sind, während das die Polster oder Schildchen sondernde Furchennetz bleich, gelblich weiß erscheint. Manchmal erstreckt sich die bleichere Färbung auch auf den Rand der Polster oder Schildchen. Die größeren Originale Savigny's besaßen wohl eine etwas hellere Färbung (»d'un jaune safrané, réticulé par des sillons plus pâles«). Diese an die besondere Struktur der Körperoberfläche gebundene Farbzeichnung ist besonders an den mehr ebenen Stellen der Körperoberfläche deutlich und scharf ausgeprägt. Sie

[1] *Cynthia savignyi* Philippi, *Rhopalea*, ein neues Genus der einfachen Ascidien, in: Arch. Anat. Physiol. Med. 1843, p. 50.

verleiht den Tieren das schon von Savigny geschilderte sehr charakteristische Aussehen, durch das sie sofort von den vielfach ähnlich gestalteten Wohnortsgenossen, zumal *P. gangelion* (Sav.), *Styela canopus* Sav. und *Microcosmus pupa* (Sav.) unterschieden werden können.

Der Zellulosemantel ist verschieden dick, stellenweise sehr dick, sehr fest und zäh wie Sohlleder, aber noch biegsam, im Schnitt weißlich, an der Innenfläche sehr hell rötlich perlmutterglänzend.

Die Innendorne an der Zellulosemantel-Innenauskleidung der Siphonen sind winzig, erkerförmig, etwa doppelt so lang wie breit (zirka 20 μ lang und 10 μ breit) und distal fast so hoch wie breit, mit halb-elliptischer Basis.

Der Weichkörper haftet meist ziemlich fest am Zellulosemantel. Er ist breit sackförmig. Die inneren Siphonen sind etwas deutlicher ausgeprägt als die äußeren, abgestutzt kegelförmig oder, bei undeutlichen äußeren Siphonen, mindestens warzenförmig.

Der Innenkörper ist überall gleichmäßig muskulös. Die Muskelstränge sind regelmäßig angeordnet und gleichmäßig voneinander gesondert, aber im allgemeinen nur durch sehr schmale Zwischenräume voneinander getrennt. Endocarpe scheinen nicht vorhanden zu sein.

Der Ingestionssipho zeigt an der Innenseite außerhalb des Tentakelträgers einen dicken muskulösen Ringwall, der ungefähr so hoch wie breit, im Querschnitt gerundet ist und wohl als Homologon eines Branchialvelums angesehen werden muß. Auch ein Atrialvelum und Artrialtentakel sind vorhanden.

Der Mundtentakelkranz besteht aus nicht ganz regelmäßig abwechselnd oder nach dem Schema 1, 3, 2, 3, 1 verschieden großen Tentakeln, deren Anzahl der Savigny'schen Angabe »24—28« entsprechen mag, bei kleinen Stücken aber vielleicht etwas geringer ist. Die Mundtentakel, selbst die größten der größeren Stücke, sind einfach gefiedert. Die Fiedern erster und einziger Ordnung sind ziemlich plump, kurz- und dick-säbelförmig. Auffallenderweise finden sich die größten Fiedern nicht an der Basis des Tentakels, sondern eine Strecke oberhalb der Basis. Von dieser Stelle der Maximalgröße nehmen sie basalwärts schnell, apikalwärts langsam an Größe ab.

Das Flimmerorgan ist ein schwach erhabenes Polster, dessen Umriß sich nach der Linie des Flimmergrubenspaltes richtet. Der Flimmergrubenspalt ist eng geschlossen und bildet eine ziemlich einfache Linie, einen nicht ganz geschlossenen Kreis, dessen Enden sich in mehr oder weniger lange, einwärts oder auswärts gebogene Hörner fortsetzen. (Ein Stück stimmte genau mit der Angabe Savigny's: »à deux spirales révolutées« überein, bei einem anderen waren die beiden Hörner in das Innere der Kreislinie hineingebogen.)

Der Kiemensack ist annähernd symmetrisch gebaut, dorsal sehr lang gestreckt, so daß die Schlundöffnung ganz am Hinterende zu liegen kommt. Der Kiemensack trägt jederseits 7 wohl ausgebildete Falten, deren mittelste die größte ist, während die drei oberen in der Reihe nach der Dorsalfalte wenig an Größe abnehmen und die drei unteren in der Reihe nach dem Endostyl hin beträchtlicher an Größe abnehmen. Es verlaufen 8 bis 21 Längsgefäße auf den Falten, 1 bis 3 auf den Faltenzwischenräumen. Ein näher untersuchtes Stück zeigte an einem Querschnitt durch die Mitte des Kiemensackes links folgende Anordnung der Längsgefäße: Links D. 2 (20) 3 (21) 3 (21) 1 (23) 2 (17) 3 (12) 3 (8) 0 E. Am Hinterende der Falten laufen die Längsgefäße in verhältnismäßig lange, abgebogene, tentakelartige freie Enden aus, die den hinteren Teil des Kiemensackes innen bärtig erscheinen lassen. Die Quergefäße sind nicht ganz regelmäßig nach dem Schema: 1 (s) 4 (1) 3 (1) 4 (s) 2 (s) 4 (s) 3 (s) 4 (s) 1 und stellenweise infolge abwechselnder Verdickung der Quergefäße 1. Ordnung sogar nach dem entsprechenden Schema noch höherer Differenzierung verschieden dick. Viele Maschen sind durch sehr feine sekundäre, parastigmatische Quergefäße geteilt. Die Kiemenspalten sind parallelrandig, ziemlich lang. Es finden sich bis 6 in den breiteren Maschen der Faltenzwischenräume, bis 12 in den verbreiterten Maschen unmittelbar neben dem Endostyl.

Papillen sind am eigentlichen Kiemensack nicht vorhanden; doch finden sich zerstreut große abgerundet kegelförmige oder stummelförmige Papillen an den Seiten des Endostyls.

Die Dorsalfalte wird durch eine einfache, sehr lange, ziemlich dichte, fast geschlossene Reihe schlank-kegelförmiger, tentakelartiger Züngelchen dargestellt. Diese Züngelchen stehen auf der First eines sehr breiten, an beiden Seiten gerippten Längswalles. Die Rippen des Längswalles scheinen zu den Züngelchen in Beziehung zu stehen, erreichen jedoch medial nicht sämtlich die First des Längswalles und die Basis der Züngelchen.

Der Darm liegt an der linken Seite des Kiemensackes. Er bildet eine sehr weite und weit geöffnete, gerade nach vorn gerichtete Schleife, deren Wendepol fast das Vorderende des Körpers erreicht, und deren End-Äste kurz abgebogen sind. Der Ösophagus ist kurz und verläuft quer, d. h. dorsoventral, um bald in den sich nach vorn umbiegenden, undeutlich abgesetzten, etwas dickeren Magen überzugehen, der die hintere Partie des vorlaufenden Darmschleifen-Astes bildet. Der Magen trägt eine mehrteilige Leber, deren erste Teilstücke auch den Ösophagus etwas überdecken. Das dem Pylorus-Ende des Magens nahe stehende letzte Teilstück ist größer als die übrigen und ragt meist entweder in das Lumen der Darmschleife hinein oder überdeckt die Innenseite (Kiemensackseite) des Magens. Die kleineren Leberteilstücke sind dick polsterförmig, unregelmäßig- und dicht-zottig. Das größere Pylorus-Teilstück der Leber gleicht einem kurz- und dickstämmigen, wenig- und breitästigen Baum. Die Kronen der einzelnen Äste sind voneinander gesondert aber aneinandergedrückt; sie sind verschieden groß und ähneln im feineren den Polstern der kleineren Leberteilstücke. Die Zotten dieser Kronen und der Polster stehen unregelmäßig und dicht gedrängt. Sie sind dick-oval, sackförmig oder abgerundet kegelförmig, wenig länger als dick und durchschnittlich etwa 130 μ dick. Der Mitteldarm ist meist nur wenig dünner als der Magen, in den distalen Teilen manchmal beträchtlich dünner. Der Enddarm ist kurz, deutlich vom Mitteldarm abgesetzt, zumal proximal, d. i. an seiner Basis, viel enger als der Mitteldarm und auch durch sein Aussehen, beruhend auf der beträchtlicheren Dicke seiner Wandlung, dem sehr dünnwandigen Mitteldarm, der seinen Inhalt deutlich durch die Wandung hindurchschimmern läßt, unterschieden. Der Enddarm ist distal etwas verengt oder fast trompetenartig erweitert (Kontraktionsunterschied). Der Afterrand ist durch zwei scharfe Einschnitte in zwei Lippen gespalten. Die Lippen sind bei gedehntem After breit und wenig vorragend, bei zusammengezogenem After schmal und stark vorspringend, im Profil zwei gleichschenkelig dreiseitigen Vorsprüngen ähnelnd, fast wie zwei Zähne aussehend. (Vielleicht beruht Savigny's Angabe: »Anus dentelé« auf einem derartigen Aussehen.) Die beiden Afterlippen zeigen noch einige sehr schwache Einkerbungen, denen schwache Längsfurchen der Enddarmwandung entsprechen. Es scheint diese Einkerbung und Längsfurchung auf schwacher Fältelung zu beruhen. (Vielleicht mag sie bei größeren Tieren, wie sie Savigny vorlagen, stärker ausgeprägt sein und damit den Anschein einer Zähnelung verursacht haben, wie er der Savignyschen Angabe entspricht).

Die Geschlechtsorgane bilden jederseits einen einzigen Zwitterapparat (hauptsächlichster Unterschied von *P. savignyi* (Phil.), bei dem rechterseits zwei Geschlechtsapparate liegen. Der der linken Seite liegt vollständig innerhalb der Darmschleife und ist in Übereinstimmung mit dem beschränkteren Raum etwas kleiner als der der rechten Seite. Jeder Geschlechtsapparat besteht aus einem ziemlich stark gebogenen dünnen Mittelstrang, dem Ausführapparat, der in der Nähe der Egestionsöffnung ausmündet, und einer Anzahl kurz- und dick-sackförmiger Säckchen, die mit sehr kurzen, dünnen Stielen, den Sonderausführgängen, am Mittelstrang sitzen. Ich zählte an einem mittelgroßen Stück am Geschlechtsapparat der linken Seite 15 Säckchen, an dem der rechten Seite 24. Im distalen Teil des Geschlechtsapparates stehen die Säckchen ziemlich regelmäßig zweizeilig, in je einer Reihe an jeder Seite des Mittelstranges, der bei dieser Anordnung vollständig frei und offensichtlich liegt. Im proximalen Teil des Geschlechtsapparates ist die Anordnung der Gonaden-

säckchen unregelmäßiger. Es liegen hier vielfach drei in einer Querlinie, manchmal sogar vier, und der Mittelstrang wird hier durch die in der Mitte der Querreihe liegenden Gonadensäckchen mehr oder weniger vollständig überdeckt. Die Abbildung Savigny's (l. c. 1816, Taf. VI Fig. 3) zeigt einen verhältnismäßig einfachen Geschlechtsapparat mit verhältnismäßig wenigen, großen Gonadensäckchen. Doch ist die charakteristische Anordnung der Gonadensäckchen in dieser Abbildung deutlich wiedergegeben.

Erörterung: *P. pantex* steht vielleicht der *P. savignyi* (Phil.) aus dem Mittelmeer und von Nordwesteuropa, mit der Roule sie vereinte (l. c.), nahe. Sie weicht, wie schon oben bemerkt, durch die Einzahl ihrer Geschlechtsapparate von jener europäischen Form ab, bei der rechterseits zwei Geschlechtsapparate — deutlich an den gesonderten Ausführgängen erkennbar — zur Ausbildung gelangt sind. Auch ist die Zahl der Gonadensäckchen eines Geschlechtsapparates bei *P. pantex* geringer und ihre Anordnung anders, nämlich im distalen Teil des Geschlechtsapparates von *P. pantex* zweizeilig. Dadurch bleibt bei dieser Art der ausführende Mittelstrang hier unbedeckt, frei sichtbar, während er bei *P. savignyi* durch die weit zahlreicheren und unregelmäßiger angeordneten Gonadensäckchen überdeckt wird, so daß in situ kaum mehr als sein Ausmündungsende sichtbar ist. Im übrigen unterscheidet sich *P. pantex* auch durch die ganz flachen Maschenräume der Körperoberfläche von *P. savignyi,* bei der diese Maschenräume meist ziemlich stark, manchmal fast stumpf-kegelförmig vorragen.

Pyura gangelion (Sav.).

1816 *Cynthia gangelion* Savigny, Mém. anim. s. vertèbr., II[1], p. 147.

1905 *Halocynthia gangelion,* Sluiter, Tunic. Gravier Tadjourah (Somalie franç.); in: Bull. Mus. Paris, p. 102.

1905 *Halocynthia gangelion,* Sluiter, Tunic. Gravier Tadjourah (Somalie franç.); in Mém. Soc. zool. Fr., XVIII, p. 15, Taf. II Fig. 6*a*.

1909 *Pyura gangelion,* Hartmeyer, Tunic.; in Bronn, Kl. Ordn. Tierr., p. 1340.

Fundangaben: Suës, am Strande; E. Bannwarth, 1914 und 1915 (6 Stücke, f. *typica*);

Gimsah-Bucht; R. Hartmeyer, 11.—17. Januar 1902 (2 Stücke f. *typica,* 3 Stücke f. *ententaculata).*

Umm el Kyaman (Umm el Jerman); R. Hartmeyer, 18.—20. Januar 1902 (1 Stück f. *ententaculata).*

Rás el Millan; R. Hartmeyer, 21.—27. Dezember 1901 (1 Stück f. *millanensis*);

Insel Sinafir, an Korallen; Pola-Exp., 23. April 1896 (2 Stücke f. *ententaculata*).

Ältere Angaben: Rotes Meer, Golf von Suës (nach Savigny).

? Golf von Aden, Französisch-Somalie, Meteor-Klippen (récif du Météor) (nach Sluiter).

Es liegen mir mehrere *Pyura*-Stücke vor, von denen einige als Lokaltypen der *Pyura gangelion* (Sav.) angesehen werden dürfen; denn sie stammen wie diese aus dem Golf von Suës, und die Angaben Savigny's über *Cynthia gangelion* stimmen zu ihnen. Diese Angaben sind aber so spärlich, daß es der Übereinstimmung des Fundortes bedurfte, um die Artzugehörigkeit mit genügender Sicherheit annehmen zu können. Sluiter (l. c.) stellt ein Stück aus dem Golf von Aden (Französisch-Somalie) zu *P. gangelion,* leider ohne nähere Mitteilungen über die Organisation dieses Stückes zu machen. Diese Zuordnung erscheint mir nicht ganz sicher. Jedenfalls muß mit der Möglichkeit gerechnet werden, daß es sich bei dem Somalie-Stück um *P. sansibarica* Mich. handelt, eine Art, die der *P. gangelion* in vielen Hinsichten gleicht, die aber, falls man lediglich auf Savigny's Angaben angewiesen ist, leicht mit *P. gangelion* verwechselt werden kann. Erst die Untersuchung lokaltypischer Stücke von *P. gangelion* ermöglicht eine scharfe Sonderung von *P. sansibarica.* Da eine

eingehende Beschreibung von *P. gangelion* fehlt, so gebe ich sie im folgenden auf Grund der Untersuchung des mir vorliegenden lokaltypischen Materials.

Diagnose: Körper ziemlich klein (bis 35 *mm*), sitzend.

Körperoberfläche uneben, zumal an den Siphonen dick-knotig und körnelig, einfarbig.

Körperöffnungen mehr als die halbe Maximalachse des Körpers voneinander entfernt.

Zellulosemantel dünn, fest und zäh, lederartig, biegsam.

Innendorne winzig, gerundet erkerförmig.

Ingestionssipho mit breitem, ringförmigem, wenig muskulösem Branchialvelum.

Größte Mundtentakel ganz einfach, ohne Fiederung (f. *millanensis*, n. f.) oder einfach gefiedert, manchmal mit dem Beginn einer Fiederung 2. Ordnung (f. *typica*) oder mit wohlausgebildeter Fiederung 2. oder gar 3. Ordnung, wobei die Fiedern höchster Ordnung stummel- bis fingerförmig rundlich sind (f. *eutentaculata*, n. f.).

Kiemensack mit 6 wohlausgebildeten Falten jederseits. Unterste Falten schmäler als die oberen.

Darm eine sehr weit klaffende und weit offene, gerade nach vorn über die Körpermitte weit hinausragende Schleife bildend. Leber mehrteilig, der größte Teil breit baumförmig, Endteile der Verzweigung verschieden groß und unregelmäßig, dicht mit stummelförmigen Leberzotten besetzt.

Geschlechtsapparate jederseits ein Zwitterorgan mit dünnem, ziemlich schwach gebogenem Mittelstrang und beerenförmig zweizeilig daran sitzenden Gonadensäckchen, der der linken Seite innerhalb der Darmschleife.

Beschreibung. Die Körpergestalt ist dick-oval oder mehr oder minder unregelmäßig, je nachdem, ob das Tier sich frei auswachsen konnte, oder ob es in engere Räume eingeklemmt war. Dimensionen: Das größte mir vorliegende Stück hat eine größte Körperachse — annähernd parallel der Rückenlinie — von etwa 35 *mm* Länge, während die beiden senkrecht dazu stehenden Körperachsen ungefähr halb so lang sind.

Bodenständigkeit: Die Tiere sind meist mit einem großen Teil der linken Seite an Muscheln, Korallen oder anderen Ascidien angewachsen.

Die Körperöffnungen sind unscheinbar, in der körneligen Oberflächenstruktur kaum auffindbar. Sie liegen verhältnismäßig weit voneinander (nach Savigny: »très écartés«), um mehr als die halbe größte Körperlänge voneinander entfernt (wesentliche Abweichung von *P. sansibarica* Mich., siehe unten!), auf mehr oder weniger stark erhabenen und scharf abgesetzten äußeren Siphonen. Der Ingestionssipho scheint immer sehr deutlich ausgeprägt zu sein, dick warzenförmig. Der Egestionssipho ist meist weniger deutlich bis undeutlich.

Die Körperoberfläche ist mehr oder weniger uneben und rauh, zumal an den äußeren Siphonen, wo sie dick-knotig und körnelig erscheint. Sie ist in sehr verschiedenem Grade von Fremdkörpern besetzt, manchmal ziemlich rein.

Die Färbung ist gelblichweiß, einfach. Die lebenden Tiere waren nach Angabe des Sammlers, Dr. Bannwarth's, »dunkel zinnoberrot« gefärbt.

Der Zellulosemantel ist im allgemeinen ziemlich dünn, an manchen Stellen etwas verdickt, fest und zäh, fast wie Sohlleder, doch in den dünneren Partien noch leicht biegsam. Er ist im Schnitt weißlich, an der Innenfläche weißlich mit schwachem Perlmutterglanz.

Die Innendorne an der Zellulosemantel-Innenauskleidung der Siphonen sind winzig. Im Profil sehen sie aus wie flache Kuppeln, deren Kuppe in einen kurzen, nach vorn geneigten Dorn ausläuft. Ob sie von vorn offen sind (erkerförmig?), ließ sich nicht genau erkennen. Ihre maximale Breite beträgt etwa 10 μ, ihre Länge etwa 16 μ, ihre Höhe etwa 8 μ.

Der Weichkörper haftet mehr oder weniger fest am Zellulosemantel. Seine Gestalt entspricht ziemlich genau der äußeren Körperform; doch sind die inneren Siphonen deutlicher ausgeprägt als die äußeren, zumal der innere Ingestionssipho.

Der Innenkörper ist mit einer kräftigen, regelmäßig angeordneten, bis zur medianen Ventralpartie hinabstrahlenden Muskulatur versehen, deren Bündel ziemlich eng aneinander gelagert sind und

fast eine geschlossene Schicht bilden. Es sind Gruppen von sackförmigen Endocarpen vorhanden, und zwar in der vorderen Körperpartie, vor dem Wendepol der Darmschleife.

Der Ingestionssipho trägt ein dickes, breites, glattrandiges Branchialvelum, einen durch Faltung entstandenen, verhältnismäßig dünnen Ringwall, dessen Muskulatur bei weitem nicht so stark ausgegebildet ist, wie in dem dicken Branchialvelum von *P. pantex* (Sav.) (siehe oben!). Auch ein deutliches Atrialvelum ist vorhanden und an demselben ein einfacher, ziemlich dichter Kranz kleiner fadenförmiger Atrialtentakel.

Der Mundtentakelkranz besteht aus etwa 16—24 Tentakeln von sehr verschiedener Größe und ziemlich unregelmäßiger Anordnung. Im allgemeinen wechseln größere und kleinere Tentakel ab. Die Mundtentakel zeigen bei den verschiedenen Stücken eine große Verschiedenheit der Gestaltung, genauer ausgedrückt, der Fiederung. Der Unterschied in dem Grade der Fiederung ist so beträchtlich, daß ich anfangs nicht glaubte, es mit einer und derselben Art zu tun zu haben. Da aber Übergänge vorhanden sind, und ich irgendwelche andere arttrennende Merkmale nicht auffinden konnte, so kam ich bald zu der Ansicht, daß es sich hier um eine weitgehende Variabilität handelt. In der Annahme einer außergewöhnlich weiten Variabilität werde ich bestärkt durch den auffallenden Umstand, daß die Variabilität nicht nur über den Artrahmen und über den Rahmen der Gattung *Pyura,* sondern auch über den Rahmen der ganzen Familie *Pyuridae* hinausreicht, so daß sich die Notwendigkeit einer Diagnosenänderung für diese Gattung und diese Familie ergibt, oder besser die Einfügung einer Ausnahmebestimmung für diesen besonderen Einzelfall in die im allgemeinen unverändert bleibenden Diagnosen. Eine solche über die allgemeinen Grenzen der höheren systematischen Gruppe hinausgehende Abweichung ist nach meiner Erfahrung beim Studium der Oligochäten das Anzeichen einer systematisch wenig bedeutsamen Schwankung, die den weitesten Ausschlag und die größte Mannigfaltigkeit der Formen im ersten Stadium zeigt, aus dem sich mutmaßlich erst im späteren Stadium bestimmte Sonderformen (junge Arten) konsolidieren. Die auffallendste, über den Rahmen der Familie *Pyuridae* hinausgehende Bildung der Tentakel zeigt das einzige Stück von Rás el Millan. Bei diesem Stück, nebenbei einem der größten dieser Art, sind selbst die größten Tentakel ganz einfach, ungefiedert, entsprechen also nicht der Diagnose der Familie *Pyuridae.* Es war tatsächlich an den ziemlich großen Tentakeln keine Spur von Fiederung, nicht einmal eine leichte Buckelung zu erkennen. Doch sind die Tentakel im übrigen wie Pyuriden-Tentakel gestaltet, nicht drehrund oder im Querschnitt oval, sondern an der Innenseite gekantet, mit einem Längsstreifen, der seiner Form nach an die Kriechleiste gewisser Landplanarien erinnert und bei anderen Formen dieser Art sowie anderen Pyuriden als Träger der Fiedern dient. Ich bezeichne diese Form mit einfachen Tentakeln als forma ***millanensis.*** Als forma ***typica,*** der offenbar Savigny's Untersuchungsobjekt (»Filets tentaculaires . . . . . pinnés«) angehört, bezeichne ich eine Form, die in meiner Sammlung durch einige Stücke von Suës und von Gimsah-Bucht vertreten ist. Bei diesen sind die größten Tentakel zweizeilig einfach gefiedert, mit mäßig großen, einfachen Fiedern I. Ordnung ausgestattet, oder die größeren Fiedern 1. Ordnung der größten Tentakel weisen schon eine nach der f. *eutentaculata* hinführende spärliche Fiederung 2. Ordnung auf, bestehend aus wenigen warzenförmigen oder kurz-stummelförmigen Auswüchsen. In dieser Form ist eine ziemlich bedeutende Variabilität feststellbar, und zwar nicht nur in der Richtung nach der *eutentaculata*-Form hin, sondern auch nach der Richtung der *millanensis*-Form mit ganz einfachen Tentakeln hin. Ein Exemplar zeigte nämlich eine sehr spärliche Fiederung 1. Ordnung. An einem der größten Tentakel dieses Stückes beschränkte sie sich jederseits auf 4 Fiedern, die zum Teil durch einen weiten Zwischenraum getrennt waren und eine sehr lange Endstrecke des Tentakelstammes ganz frei ließen. An einem kleinen Tentakel dieses Stückes war überhaupt keine deutliche Fiederung erkennbar, nur einseitig eine buckelförmige Erhebung am leistenförmigen Fiederträger. Dieser Tentakel war also fast einfach, wie es bei f. *millanensis* sämtliche Tentakel, auch die größten, sind. Den höchsten Grad der Fiederung zeigen 3 Stücke von Gimsah-Bucht, 1 von Umm el Kyaman und

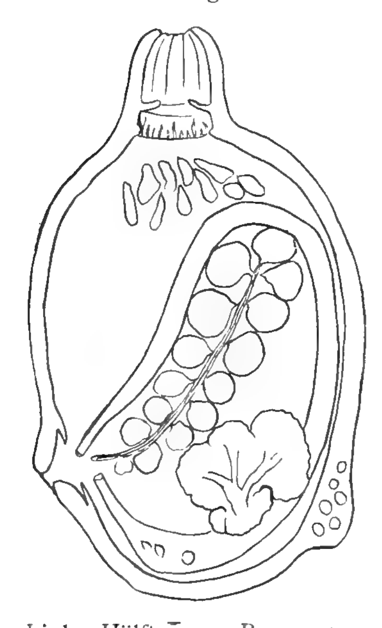
2 von der Insel Sinafir. Ich bezeichne diese Form als forma ***ententaculata.*** Bei dem größten Stück (von Gimsah-Bucht) weisen die größten Tentakel eine wohlausgebildete Fiederung 3. Ordnung auf, bei den übrigen Stücken aber nur eine wohlausgebildete Fiederung 2. Ordnung. Das Bemerkenswerteste an dieser Fiederung ist der Umstand, daß die Fiedern höchster Ordnung nicht den Fiedern niederer Ordnung ähneln, sondern drehrund, schlank stummelförmig bis fingerförmig sind, und nicht nur an den Fiedern nächstniederer Ordnung stehen, sondern auch unmittelbar am Tentakelstamm, bezw. bei dreifach gefiederten Tentakeln auch unmittelbar an den Fiedern 1. Ordnung. Die Zeilen der Fiedern höchster Ordnung laufen also über die ganzen Tentakelseiten hinweg. Sie treten sogar auf den Tentakelträger über, so daß sie als einfache Stummel zwischen zwei zusammengesetzten Tentakeln zu stehen kommen. Sie sind hier anscheinend ganz selbständig und müssen als »einfache Tentakel« bezeichnet werden. Wir finden also in dem höchsten wie in dem niedrigsten Stadium der Tentakelbildung einfache Tentakel, in dem ersten Falle zwischen zusammengesetzte Tentakel eingestreut und sämtlich winzig, in dem zweiten Falle alleinherrschend, als fiederlose Tentakelstämme verschiedener Größe. Bemerkenswert ist, daß das kleinere der beiden Stücke von der Insel Sinafir eine weit reichere Fiederung 2. Ordnung aufweist als das viel größere andere Stück.

Das Flimmerorgan ist ein polsterförmiger Körper, dessen Umriß sich nach der Gestalt des Flimmergrubenspaltes richtet. Der Flimmergrubenspalt bildet eine einfache Linie. Er ist *U*-förmig, vorn offen, oder liegend *S*-förmig.

Der Kiemensack trägt jederseits 6 wohlausgebildete Falten. Die untersten Falten sind im allgemeinen etwas schmäler als die mittleren oder die obersten; doch zeigen die Kiemensäcke verschiedener Tiere manche Verschiedenheiten und anscheinende Unregelmäßigkeiten. Bei kleineren Tieren ist anscheinend die Zahl der Längsgefäße etwas geringer als bei größeren. Eines der mittelgroßen Stücke zeigte folgende Anordnung der Längsgefäße:

rechts: D. 1 (11) 2 (11) 1 (16) 2 (11) 3 (6) 1 (6) 1+? E.
links: D. 1 (13) 3 (10) 2 (9) 3 (10) 3 (9) 3 (8) 2 E.

Textfig. 6.



Linke Hälfte von *Pyura gangelion* (Sav.) f. *typica*, durch einen Medianschnitt freigelegt, Kiemensack abpräpariert; schematisch; 5/2.

Am Hinterende der Kiemsackfalten ragen die Enden der Längsgefäße tentakelartig frei ab, so daß diese Faltenenden fast bärtig erscheinen. Die Quergefäße sind nicht ganz regelmäßig nach dem Schema 1 (s) 4 (s) 3 (s) 4 (s) 2 (s) 4 (s) 3 (s) 4 (s) 1 geordnet. Sekundäre, parastigmatische Quergefäße fehlen nur wenigen Maschen. Die Kiemenspalten sind verhältnismäßig sehr lang, parallelrandig. Ich fand bis 11 in den breiteren Maschen der Faltenzwischenräume. Die feinsten, die Kiemenspalten trennenden Längsgefäße sind glatt, ohne echte Papillen.

Die Dorsalfalte besteht aus einer sehr langen Reihe schlanker, tentakelartiger Züngelchen.

Der an der linken Seite des Kiemensackes gelegene Darm (Textfig. 6) bildet eine einfache, kaum gebogene, sehr weite Schleife, deren Endäste sich einander nähern, und deren Wendepol weit über die Mitte des Körpers nach vorn ragt. Der Magen trägt eine mehrteilige Leber. Die kleineren vorderen Teile der Leber sind von dem größeren hinteren Teil durch einen deutlichen Zwischenraum getrennt; sie ragen, wie schon Savigny nachwies, in die rechte Körperhälfte hinein. Der Hauptsagittalschnitt, durch den das Original der Textfig. 6 in seine beiden Hälften zerlegt wurde, schnitt die von links nach rechts ragenden vorderen Leberteile an ihrer Wurzel ab, so daß in dieser Textfigur nur die Querschnitte ihrer Wurzelkanäle zur Ansicht kommen. Die größere hintere Leber ist ein baumförmiges, verästeltes Gebilde, das vom Magen nach oben in das Lumen der Darmschleife hineinragt. Die End-

teile der Verzweigung sind sehr verschieden groß, unregelmäßig gestaltet (nicht regelmäßig laibförmig wie bei *P. sansibarica*) und dicht mit feinen, stummelförmigen, etwa 90 μ dicken und 175 μ langen Leberzotten besetzt. Die vorderen Teilstücke der Leber sind ähnlich, aber einfacher gestaltet, kleiner. Der Afterrand ist nicht deutlich gelappt, sondern höchstens schwach und unregelmäßig wellig.

Die Geschlechtsapparate (Textfig. 6) sind zwittrig. Sie bestehen aus einem schlanken, etwas gebogenen Mittelschlauch und einer großen Zahl dick-eiförmiger bis kugeliger, zwittriger Gonadensäckchen, die mehr oder weniger regelmäßig paarweise in zwei ziemlich regelmäßigen Zeilen zu Seiten des Mittelschlauches stehen; ein unpaariges Gonadensäckchen bildet den proximalen Abschluß des Geschlechtsapparates. Der Mittelschlauch ist anscheinend aus zwei eng aneinandergelegten Schläuchen, Eileiter und Samenleiter, zusammengesetzt. Ein genau ausgezähltes Stück besaß im Geschlechtsapparat der rechten Seite 23, in dem der linken Seite 14 Gonadensäckchen. Die übrigen Stücke scheinen hiervon nicht auffällig abzuweichen. Der Geschlechtsapparat der linken Seite liegt innerhalb der Darmschleife, die er aber nicht ganz ausfüllt. Der geringfügigen Krümmung der Darmschleife entspricht auch die schwache Krümmung des Geschlechtsapparates.

Bemerkungen: *P. gangelion* steht zweifellos der *P. sansibarica* Mich. von Sansibar und den Guinea-Inseln nahe. Eingehende Vergleichung siehe unten in der Erörterung dieser Art.

Pyura sansibarica Mich.

1908 *Pyura sansibarica* Michaelsen, Pyurid. [Halocynthiid.] Nat. Mus. Hamburg, p. 251, Taf. II Fig. 27—29.
1909 *Pyura sansibarica*, Hartmeyer, Tunic., in: Bronn, Kl. Ordn. Tierr., p. 1341.
1914 *Pyura sansibarica guinensis* Michaelsen, Üb. westafrikan. Ascid., p. 424.
1915 *Pyura sansibarica typica + guinensis*, Michaelsen, Tunic., in: Meeresf. Westafrik., p. 372, Taf. XVIII Fig. 38; p. 373, Taf. XVIII Fig. 39.

Fundangabe: Massaua; Pola-Exp., 30. Dez. 1897 (1 Stück).
Rotes Meer, ohne nähere Angabe (Hofmuseum zu Wien).

Weitere Verbreitung: Tropisch-Ostafrika, Sansibar; Tropisch-Westafrika, Isla Annobón u. Ilha de Saõ Thomé (nach Michaelsen).

Dimensionen: Das eine der beiden neuen Stücke aus dem Roten Meer, und zwar das von Massaua, zeichnet sich durch seine beträchtliche Größe aus. Es ist ungefähr 50 *mm* lang und hoch, übertrifft also das größte bisher beobachtete Stück bedeutend.

Erörterung. *P. sansibarica* steht der *P. gangelion* (Sav.) vom Roten Meer (und vom Golf von Aden?) sehr nahe; doch sind beide Arten, wie auch durch eine Nachuntersuchung des Originals von *P. sansibarica* und einen Vergleich mit den lokaltypischen Stücken der *P. gangelion* sichergestellt wurde, gut zu unterscheiden. Wenngleich der allgemeine Habitus bei beiden Arten der gleiche ist, so lassen sie sich doch schon an äußeren Charakteren sicher erkennen. Es sind nämlich die äußeren Siphonen, bezw. die Körperöffnungen bei *P. sansibarica* einander genähert, während sie bei *P. gangelion* um mehr als die Hälfte der größten Körperdimension voneinander entfernt sind (»très écartés« nach Savigny, l. c. p. 147).

Der Hauptunterschied liegt in der Gestaltung der Innendorne an der Zellulosemantel-Innenauskleidung der Siphonen. Bei *P. gangelion* sind dieselben kurz, vorn gerundet, breit erkerförmig, bei *P. sansibarica* lang spießförmig, mit schlankem, scharf zugespitztem, weit vorragendem Dorn, dessen Gestalt übrigens etwas variieren kann; wenigstens halte ich jetzt den lediglich hierauf beruhenden Unterschied zwischen f. *typica* und var. *guinensis* für einfache Variabilität. Es ist eigentümlich, daß bei zwei so nahe verwandten Arten, wie es *P. gangelion* und *P. sansibarica* anscheinend sind, die Innendorne eine so verschiedene Gestaltung aufweisen. Etwas Ähnliches ist aber auch in anderen

Verwandtschaftsgruppen nachgewiesen, so bei *Microcosmus exasperatus* Heller subsp. *typica* und subsp. *australis* (Herdm.), die sich durch eben denselben Unterschied zwischen den Innendornen voneinander sondern, und zwar ohne artlich voneinander getrennt werden zu können. Es ist mir bei Betrachtung dieser Verhältnisse der Gedanke gekommen, ob diese verschiedene Gestaltung der Innendorne nicht etwa auf verschiedenem Erhaltungszustand beruhen möge, ob nicht etwa die kurze, erkerförmige Gestalt als Abschleifungszustand aus dem schlank dornförmigen herzuleiten sei? Diese Erklärung erscheint mir ausgeschlossen. Man müßte dann doch Übergangsbildungen auffinden, wenigstens an jenen Stellen, die der Abschleifung weniger ausgesetzt sind, etwa am Grunde der Längsfalten der Zellulosemantel-Innenauskleidung. Derartige Übergangsbildungen fehlen aber ganz. Auch die geographische Beschränkung dieser und jener Form spricht gegen diesen Gedanken.

Der Ingestionssipho entbehrt bei *P. sansibarica* des für *P. gangelion* so charakteristischen ringförmigen Branchialvelums und zeigt dafür 4 den Lappen der Ingestionsöffnung entsprechende Längsfalten.

Die Mundtentakel von *P. sansibarica* ähneln denen der f. *eutentaculata* von *P. gangelion*. Beachtenswert erscheint mir das Vorkommen von winzigen einfachen Tentakeln bei beiden, sowohl bei *P. gangelion* f. *eutentaculata* wie bei *P. sansibarica*, wo sie allerdings nur an dem Stück von Annobón (var. *guinensis*) sicher nachgewiesen werden konnten (l. c. 1915, p. 375); also auch bei dieser Art eine gewisse Varibilität in der Fiederung der Mundtentakel.

In Hinsicht der Endocarpe, links vorn vor der Darmschleife, ähnelt *P. sansibarica* der *P. gangelion*.

Beträchtliche Unterschiede zeigt der Darm bei den hier erörterten Arten. Bei *P. sansibarica* bildet er eine lange, etwas verschieden stark, aber immer stark gebogene, mäßig weit klaffende Schleife, die von den linken Gonaden fast ganz ausgefüllt wird, bei *P. gangelion* eine kaum gebogene, sehr weit klaffende Schleife, in der noch ein beträchtlicher Raum neben den linksseitigen Gonaden frei bleibt. Besonders bedeutsam ist auch der Unterschied im feineren Bau der Leber, die bei *P. gangelion* nicht jene regelmäßig gestalteten und fast gleich großen Leberfältchen an den distalen Enden der Verzweigung bildet, wie bei *P. sansibarica*. Die Leberzotten sind bei *P. sansibarica* kaum etwas plumper, dicker und kürzer als bei *P. gangelion*, nämlich etwa 140 μ dick (gegen eine Dicke von etwa 130 μ bei *P. gangelion*).

Auch die Gonaden zeigen bei beiden Arten beträchtliche Unterschiede. Bei *P. sansibarica* ist die Zahl der Gonadenpakete viel größer, linksseitig z. B. 47 bei dem Original von Sansibar (gegen 14 bei dem näher untersuchten Stück der *P. gangelion*). Auch ist der Geschlechtsapparat der linken Seite entsprechend der stärkeren Biegung der Darmschleife bei *P. sansibarica* viel stärker gebogen als bei *P. gangelion*.

Pyura momus (Sav.), sp. ampla.

(Taf. I Fig. 17—19, Textfig. 7.)

1816 *Cynthia momus* Savigny, Anim. s. vertèbr. II[1], p. 143.

1878 *Cynthia pallida* + *C. grandis* Heller, Beitr. Kenntn. Tunikaten, p. 96, p. 97.

1881 *Cynthia pallida* + *C. complanata* Herdman, Prel. Rep. Challenger III, p. 60, p. 62.

1882 *Cynthia pallida* + *C. papietensis* + *C. complanata*, Herdman, Rep. Tunic. Challenger I. Asc. simpl., p. 143, p. 143, p. 145.

1883 *Cynthia pallida*, Traustedt, Vestind. Ascid. simpl. And. Afd. (Molgul. Cynth.), p. 119.

1884 *Microcosmus julinii* + *Cynthia mauritiana* Drasche, Üb. außereurop. einf. Ascid., p. 371, p. 375.

1885 *Cynthia pallida billitonensis* Sluiter, Einf. Ascid. Billiton., p. 183.

1887 *Cynthia rosea* Sluiter, Einf. Ascid. Batavia, p. 264.

1891 *Microcosmus julinii* + *M. draschii* [+ *Rhabdocynthia mollis ??*] + *Rh. mauritiana* [+ *Rh. subfusca ?* + *Rh. tenuis ?*] + *Rh. papietensis* + *Rh. complanata* + *Rh. rosea* + *Rh. pallida* + *Rh. pallida billitonensis* + *Cynthia momus* + *C. grandis*, Herdman, Rev. Class. Tunic., p. 575, p. 575 [p. 575], p. 575 [p. 575, p. 575], p. 575, p. 575, p. 575, p. 575, p. 577, p. 577.

1904 *Rhabdocynthia pallida* + *Rh. latisinuosa* Sluiter, Tunic. Siboga-Exp. I. Social. Holosom. Asc., p. 54, p. 55.
1905 *Halocynthia pallida* f. *typica* + *H. p. mauritiana* + *H. papietensis* + *H. grandis*, Michaelsen, Rev. Heller's Ascid. Typ., p. 78, p. 83, p. 83, p. 85.
1905 *Rhabdocynthia pallida* + *Halocynthia momus*, Sluiter, Tunic. Golf. Tadjourah; in: Mém. S. zool. Fr., p. 14, p. 15.
1906 *Rhabdocynthia pallida* + *Rh. ceylonica* Herdman, Tunic., in: Pearl Oyster Fish., p. 308, p. 309.
1906 *Halocynthia pallida*, Hartmeyer, Beitr. Kenntn. japan. Ascidienfauna, p. 4.
1908 *Pyura pallida* f. *typica* + *P. p. formosae* + *P. p. ceylonica* + *P. p. papietensis* + *P. p.* »Japanische Form« + *P. p. grandis* + *P. p. tenuis*, Michaelsen, Pyurid. Naturh. Mus. Hamburg, p. 270.
1909 *Pyura latisinuosa* [+ *P. mollis*??] + *P. momus* + *P. pallida typica* + *P. p. ceylonica* + *P. p. formosae* + *P. p., grandis* + *P. p. japonica* + *P. p. papietensis* [+ *P. p. tenuis*?] + *P. roseola* [+ *P. subfusca*??], Hartmeyer, Tunic., in: Bronn, Kl. Ordn. Tierr., p. 1340, 1341.
1911 *Pyura ceylonica*, Michaelsen, Tethyid. Naturh. Mus. Hamburg, p. 178.
1913 *Microcosmus julinii*, Herdman, Tunic. »Thetis«-Exp., p. 877.

F. typica.

1816 *Cynthia momus* Savigny, Anim. s. vertèbr., II[1], p. 143, Taf. I Fig. 2, Taf. IV Fig. 1.
1886 *Cynthia pallida* part. (Stück von Ost-Bandasee), Herdman, Rep. Tunic. Challenger II. Asc. comp., p. 405.
1891 *Cynthia momus*, Herdmann, Rev. Class. Tunic., p. 577.
1905 ? *Halocynthia momus*, Sluiter, Tunic. Tadjourah, in: Bull. Mus. d'hist. natur., p. 102.
1905 ? *Halocynthia momus*, Sluiter, Tunic. Tadjourah, in Mém. Soc. zool. Fr., p. 13, Taf. II Fig. 7, 7a.
1909 *Pyura momus*, Hartmeyer, Tunic., in: Bronn, Kl. Ordn. Tierr., p. 1340.

Fundangaben: Suës; E. Bannwarth, 1914 (mehrere Stücke). Gimsah-Bucht; R. Hartmeyer, Jan.-Febr. 1902 (mehrere Stücke). Sherm Habban; Pola-Exp., 13. Jän. 1896. (3 Stücke). Jiddah (Djeddah); Pola-Exp., 10. Dez. 1895 (mehrere Stücke).

Ältere Angabe: Golf von Suës (nach Savigny).

Weitere Verbreitung: ? Golf von Aden (Französ.-Somalie) (nach Sluiter 1905); ? Ost-Bandasee, 5° 49′ 15″ südl. Br., 132° 14′ 15″ östl. Lg. (nach Herdman 1886).

Erörterung und **Diagnose** der f. *typica* siehe unten in der allgemeinen Erörterung über diese Art und bei der Zusammenstellung der verschiedenen Formen.

F. kyamanensis, n. f.

Fundangaben: Umm el Kyaman (Umm el Jerman); R. Hartmeyer, 18.—20. Jän. 1902 (mehrere Stücke). Dahab; Pola-Exp., 6. April 1896 (1 Stück).

Erörterung und **Diagnose** siehe unten, unter der Erörterung der Art und bei der Zusammenstellung der verschiedenen Formen.

F. polana, n. f.

Fundangaben: Tor; Pola-Exp., 10. März 1896 (2 Stücke), R. Hartmeyer, 1902 (2 Stücke). Insel Sinafir; Pola-Exp., 24. April 1896 (1 Stück). Port Berenice; Pola-Exp., 24. Nov. 1895 (wenige Stücke). Rotes Meer ohne nähere Angabe; Ehrenberg (2 Stücke).

Erörterung und **Diagnose** siehe unten, unter der Erörterung der Art und bei der Zusammenstellung der verschiedenen Formen.

Erörterung der *P. momus*, sp. ampl. Es liegen mir aus dem Golf von Suës, der Fundstelle des Originals von *Cynthia momus* Sav., zahlreiche Stücke vor, die zweifellos dieser Savigny'schen Art zugeordnet werden müssen, zugleich aber sich als Glieder der bisher als *Pyura pallida* Heller bezeichneten »species ampla« erweisen. Daß Savigny die charakteristischen Kalkkörper nicht erwähnt, ist belanglos; denn im Zellulosemantel sind sie spärlich und dabei leicht zu übersehen, in den Geweben des Weichkörpers aber hat er solche Elemente wohl nicht vermutet und gesucht. Es muß hiernach der Name *Pyura pallida* dem älteren Namen *Pyura momus* weichen.

Eine besondere Schwierigkeit bot die nähere Bestimmung der nicht nur im Golf von Suës, sondern auch in anderen Örtlichkeiten des Roten Meeres vorkommenden Formen dieser »species ampla« nach engerer Kategorie, nach Unterart, Varietät oder Form. Die Frage der näheren Bestimmung zwang mich zu einer umfassenderen Prüfung des vorliegenden Tatsachenmaterials.

Es ist zunächst der Umfang der »species ampla« *P. momus* (Sav.) zu prüfen. Es gehören außer der Savigny'schen Form zweifellos die von mir 1905 zu *Halocynthia pallida* und *H. grandis* (l. c. 1905, p. 78 u. p. 85), 1900 zu *Pyura pallida* (1908, l. c. p. 270) gestellten Formen hierher. Die damals noch unter Anfügung eines Fragezeichens eingestellten Formen glaube ich jetzt sicher dazurechnen zu dürfen. Sicherlich ist dieser Kreis aber noch etwas zu erweitern. Wahrscheinlich gehören hierher noch einige der von Herdman 1891 (l. c. p. 575) zu *Rhabdocynthia* gestellten Arten, so *Rh. subfusca* und *Rh. tenuis,* vielleicht auch *Rh. mollis.* Leider hat Herdman keine Beschreibungen dieser Arten geliefert, so daß wir auf die ganz geringfügigen Noten der Bestimmungstabelle angewiesen sind. Diese Noten aber beschränken sich auf Angabe der Zahl der Kiemensackfalten oder geben höchstens noch Auskunft über Form und Farbe sowie über Durchsichtigkeitsverhältnisse des Zellulosemantels. Es sind also fast »species nudae.« Am wenigsten erfahren wir über *Rh. mollis,* nämlich nur, daß sie jederseits 6 Kiemensackfalten besitze; gerade dies aber läßt es bedauerlich erscheinen, daß wir über die Verwandtschaftsverhältnisse dieser Form nicht urteilen können. Es wäre sehr interessant zu wissen, ob diese Form mit 6 Kiemensackfalten dem Kreise der *P. momus* angehört; denn sie würde den Umfang der Variabilität in dieser Organbildung nach unten ausweiten. Von weiteren Formen füge ich *Rhabdocynthia latisinuosa* Sluiter (1904, l. c. p. 55) der *P. momus* an. Daß der etwas engere Schluß der Darmschleife von besonderer Bedeutung sei, glaube ich nicht annehmen zu sollen. Wahrscheinlich hängt er mit der nicht ganz gewöhnlichen Streckung des Tieres in der Richtung parallel zur Rückenlinie zusammen. (Das Tier ist ungefähr doppelt so lang wie breit.) Einer Erörterung bedarf noch die f. *ceylonica,* die ich 1908 der *Pyura pallida* (s. l.) zuordnete, 1911 dagegen auf Grund der Zottenanhänge des Zellulosemantels und der Gestalt der Kalkkörper im Zellulosemantel als besondere Art abtrennte (l. c. 1908, p. 270, l. c. 1911, p. 178). Ich habe das im Hamburger Museum aufbewahrte lokaltypische Stück einer Nachuntersuchung unterzogen und bin zu dem Schluß gelangt, daß eine artliche Abtrennung dieser Form doch nicht angängig ist. Die zottenartigen Zellulosemantel-Anhänge sind zwar eigentümlich und treten wenigstens in dieser ausgesprochenen Weise bei anderen ebenfalls mit Fremdkörpern besetzten Formen (z. B. f. *formosae* Mich.) nicht auf. Die angeführte Besonderheit in der Gestaltung der Kalkkörper des Zellusemantels ist dagegen belanglos. Es handelt sich hier, wie ich ziemlich sicher nachweisen kann, um eine Verwitterungserscheinung. Mutmaßlich enthielt die erste Konservierungsflüssigkeit kalkzerstörende Bestandteile. Es sind nämlich jetzt, 5 Jahre nach der ersten Untersuchung, überhaupt keine Kalkkörper in dem Stück zu finden, sondern nur die leeren, entkalkten Hüllen im Weichkörper. Zweifellos sind trotz Einsetzens des Stückes in reinen Alkohol noch Teile der ätzenden Substanz im Körper des Tieres zurückgeblieben und haben ihre langsam zerstörende Tätigkeit bis zur völligen Auflösung der Kalkkörper fortsetzen können. Ein damals durch absoluten Alkohol hindurchgeführtes Präparat vom Zellulosemantel zeigt noch jetzt die Kalkkörper, wie ich sie damals sah; allerdings sehe ich jetzt doch bei einzelnen noch deutliche Spuren des verdickten Kopfes. Wenngleich der Zellulosemantel bei den Formen dieser »species ampla« nach Dicke und Festigkeit große Variabilität besitzt, halte ich es doch für richtiger, die locker zottige Ceylonform als f. *ceylonica* gesondert zu halten.

Was die Gliederung dieser »species ampla« anbetrifft, so kann es sich meiner Ansicht nach nur um Feststellung gewisser Hauptformen handeln, die nicht scharf voneinander getrennt, sondern durch mancherlei Übergänge miteinander verbunden sind. Fast alle Organe zeigen bei dieser weiten Art eine starke Variabilität, alles scheint im Schwanken begriffen zu sein. Wohl treten in manchen engeren Bezirken gewisse Sonderbildungen auf, die als Lokalformen gedeutet werden möchten; doch scheinen auch diese noch nicht gefestigt zu sein; denn bei Stücken desselben Bezirks, die wegen

anderer Organisationsverhältnisse diesen Sonderformen nahe gestellt werden müßten, fehlt diese Sonderbildung oder ist nicht scharf ausgeprägt.

Die Beurteilung dieser Verhältnisse wird sehr erschwert durch den Umstand, daß nicht immer festgestellt werden kann, inwieweit es sich bei gewissen Organgestaltungen um Wachstums-, bezw. Altersstadien handelt. Es bilden sich nämlich die Geschlechtsorgane meist in einem sehr frühen Stadium aus, lange bevor das Tier einigermaßen ausgewachsen ist. So fand ich anscheinend reife Geschlechtsorgane bei einem 9 *mm* langen Stück (Nr. 35 der Tabelle), das einer Form zugerechnet werden muß, die in 76 *mm* langen Stücken vorliegt.

Um diese Verhältnisse klar zur Anschauung zu bringen, habe ich in der folgenden Tabelle nach dem mir zugänglichen Material und den aus der Literatur zu entnehmenden Angaben die meiner Ansicht nach hauptsächlich in Betracht kommenden Organgestaltungen zusammengestellt. Aus dieser Tabelle ist zu ersehen, daß von 60 behandelten Stücken kaum einige einander in allen Organgestaltungen gleich sind. Man mag diese Stücke zusammenordnen, nach welchen Gesichtspunkten man wolle, nach Zahl der Kiemensackfalten, nach Gestaltung der Geschlechtsorgane, des Afterrandes, der Siphonen oder des Zellulosemantels, nach der Größe der Kalkkörper oder nach geographischen Bezirken, man wird auf keine Weise klar umschriebene Formen sondern können. Die von mir untersuchten Stücke (Nummern) sind in dieser Tabelle durch ein Sternchen (*) bezeichnet.

Ich will zunächst die verschiedenen Formen der allgemeinen Gestaltung und der einzelnen Organsysteme besprechen.

Größe. Die Größe anscheinend geschlechtsreifer Tiere schwankt zwischen 9 und 150 *mm* in der längsten Körperachse (Nr. 34 und 60). Ich habe schon oben darauf hingewiesen, daß die Geschlechtsreife in einem sehr frühen Stadium erlangt werden kann. Es finden sich aber auch größere Stücke, die in dieser Hinsicht rückständig sind. So fand ich ein 40 *mm* langes Stück (Nr. 44) ohne jegliche Spur von Geschlechtsorganen, das einer Form anzugehören scheint, von der schon 9 *mm* lange Stücke Geschlechtsorgane aufweisen. Man kann jedenfalls das Stadium des Ausgewachsenseins nicht nach der Ausbildung der Geschlechtsorgane beurteilen. Da man aber annehmen kann, daß die Sammler zunächst möglichst große Stücke des zur Verfügung stehenden Materials mitgenommen haben werden, so kann man doch aus den zur Untersuchung gekommenen Stücken gewisse Schlußfolgerungen ziehen. Eine besonders große Form, für die die dem ältesten Namen entnommene Bezeichnung »f. *grandis* (Heller 1878)« recht passend erscheint, kommt an der Ostküste Australiens (New South Wales) vor. Sie ist hier in mehreren sehr großen, bis 160 *mm* langen Stücken (Nr. 60) gesammelt worden. Auch die ebenfalls bisher nur in N. S. Wales gefundene f. *complanata* bildet sehr große Formen aus; zeigte doch ein 85 *mm* langes Stück dieser Form (Nr. 55) noch keine Spur von Geschlechtsorganen, war also wahrscheinlich noch nicht ausgewachsen. F. *complanata* ist aber mutmaßlich nur eine Jugendform der f. *grandis*. Diesen großen Formen kommt ein Stück von Ceylon nahe (Nr. 18), das ich der »f. *pallida* (Heller 1878)« zuordne, deren Länge sonst durchschnittlich (12 Stücke untersucht) nur 34 *mm* beträgt (1 Stück von Billiton, Nr. 14, 70 *mm* lang). Eine noch beträchtliche Größe (70 *mm* Länge) zeigt auch das Original der »f. *latisinuosa* (Sluit.) 1904« (Nr. 21) von der Bandasee sowie mehrere Stücke der »f. *typica* Sav. 1816, die 60—70 *mm* größter Körperachse aufweisen (Nr. 47 und 49). Die übrigen Formen erreichen bei weitem nicht diese Größen: »f. *papietensis* (Herdm.) 1882« bis 23 *mm* (Nr. 2), »f. *ceylonica* (Herdm.) 1906« bis 20 *mm* (Nr. 3), »f. *rosea* (Sluit.) 1887« 30 *mm* (Nr. 5) und f. *formosae* Mich. 1905« bis 20 *mm* (Nr. 6), »f. *kyamanensis*, n. f.« bis 24 *mm* (Nr. 29) und »f. *polana*, n. f.« (Nr. 23) bis 44 *mm*.

Gestalt. Die Körpergestalt hat systematisch sicher keine besondere Bedeutung, da sie ganz von äußeren Umständen abhängig ist. Vielleicht aber hat sie Einfluß auf gewisse innere Gestaltungen, so auf Länge und Enge der Darmschleife bei länger gestreckten Stücken (Original der f. *latisinuosa*, Nr. 21).

Forma	Nummer	Bezeichnung	Fundort	Größte Körperlänge in *mm*	Äußere Siphonen	Zellulose-mantel	Größte Kalkkörper des Weichkörpers		Fiederung der größten Tentakel
							Länge in µ	Dicke zur Länge	
? mollis	1	*Rhabdocynthia m.* Herdm. 1891 ...	Australien	?	?	?	?	?	?
? complanata	[54]	[*Microcosmus julinii* Herdm. 1913]....	N. S. Wales	60	undeutl.	nicht s. dick	?	?	?
papietensis	2	*Cynthia p.* Herdm. 1882...........	Tahiti	23	kl.	dünn, weich	79	26/1	2. Ordn. spärl.
ceylonica	3	*Rhabdocynthia c.* Herdm. 1906....	Ceylon-Geb.	20	I. zieml. gr.	»	?	?	2. Ordn.
»	4*	*Pyura c.* Mich. 1911.	»	20	E. undeutl.	mäßig dick, weich	750	29/1	»
roseola	5	*Cynthia rosea* Sluit. 1887...........	Java	30	zieml. gr.	dick, fest	?	?	vielfach verzw.
formosae	6*	*Pyura pallida f.* Mich. 1908.....	Formosa	20	undeutl.	dünn, fest	780	26/1	4. Ordn. spärl.
pallida	7	*Cynthia mauritiana* Dr. 1884	Mauritius	26	I. gr., E. kl.	dünn	1200	?	s. verzw.
»	8*	*Pyura pallida typ.* Mich. 1908.....	Seychellen	27	m.	dick, weich	1015	38/1	3. Ordn.
»	9*	»	»	36	»	»	850	26/1	»
»	10*	»	Columbia (Cartagena)	15	undeutl.	t. mäßig dick, weich	760	28/1	»
»	11*	»	St. Thomas	28	»	dick, weich	870	38/1	4. Ordn.
»	12*	»	Cuba	40	»	dick, fest	1160	32/1	3. Ordn. spärl.
»	13*	»	»	50	»	»	960	28/1	4. »

Linie des Flimmer-gruben-spaltes	Zahl der Kiemensackfalten		Afterrand	Geschlechtsapparat	Sonstiges
	rechts	links			
?	6	6	?	?	—
unregelm. wellig, eingeb.	6 (? 12)	6 (? 12)	?	?	Dorsalfalte »a plain membrane«
glatt, nicht eingeb.	7	7	?	?	—
glatt, eingeb.	7	7	?	?	Zellulosemantel stark inkrust.
»	7	7, VII kl.	glatt, 2-lippig	O. ein wen. geb. dünner Stab; H. in randständigen Gruppen	Zellulosemantel mit zottenf. Haftfäden, stark inkrust.
vorn mit tiefen Einbuchtungen	7	?	?	O. ein breiter, nicht gelappt. Stab; H. in randständ. Gruppen	Siphonen weit voneinander entfernt
glatt, eingeb.	7, VII kl.	7, VII kl.	glatt, 2-lippig	O. ein etwas gebog. Stab; H. ein Belag auf O., lappig den Rand überragend	—
glatt, t. eingeb.	8	8	glatt, wulst.	O. ein breiter verbog. Stab; H. randst., lappig	—
glatt, eingeb.	8, VIII kl.	8, VIII kl.	»	O. ein etwas verbog. dünner Stab; H. ?	unreif ?
»	»	»	»	O. ein kurzer dicker Stab; H. ein Belag auf O.	—
?	8 ?	8 ?	wellig geschrumpft, 2-lippig	O. ein etwas verbog. dünner Stab; H. in randständ. Gruppen	—
glatt, eingeb.	8	8	?	O. ein wenig verbog. Stab; H. randst., gelappt	—
?	8	8	glatt, 2-lippig	O. ein zieml. dicker, etwas gebog. Stab; H. ein Belag auf O.	—
glatt, eingeb.	9, IX kl.	8	»	O. ein mäßig dicker, etwas gebog. Stab; H. ein Belag auf O.	Darmschleife zieml. eng.

Forma	Nummer	Bezeichnung	Fundort	Größte Körperlänge in *mm*	Äußere Siphonen	Zellulose-mantel	Größte Kalkkörper des Weichkörpers: Länge in μ	Größte Kalkkörper des Weichkörpers: Dicke zur Länge	Fiederung der größten Tentakel
pallida	14	*Cynthia billitonensis* Sluit. 1885	Billiton	70	zieml. gr.	?	350 ?	13/1	2. Ordn.
»	15*	*Cynthia p.* Heller 1878 (Mich. 1905)	Huahine	24	kl.	mäßig dick, fest	1821	34/1	3. »
»	16*	»	Palau-I.	27	»	»	812	30/1	»
»	17*	»	Samoa-I.	30	»	dünn, fest	754	28/1	»
»	18	*Rhabdocynthia p.* Herdm. 1906	Ceylon-Geb.	90	zieml. gr.	t. s. dick	?	?	»much branched«
»	19*	*Halocynthia p. typ.* Mich. 1905......	Daressalaam	40	gr.	dünn, fest	928	28/1	3. Ordn.
?pallida	20	*Cynthia p.* Traust. 1883...........	St. Thomas, St. Croix	42	zieml. gr.	dick, fest	?	?	?
latisinuosa	21	*Rhabdocynthia l.* Sluit. 1904	O.-Bandasee	70	?	dünn, fest	2000	?	reich verästelt
polana	22*		Rotes Meer	30	I. gr., E. undeutl.	mäßig dick, weich	725	12/1	3. Ordn.
»	23*		»	44	»	dick, weich	609	14/1	?
»	24*		Rotes Meer (Raweyyah)	36	»	dünn, fest	440	12/1	3. Ordn.
»	25*		» (Tor)	14	I. mäßig gr., E. kl.	dick, weich	290	14/1	»
»	26*		» (P. Berenice)	30	undeutl.	mäßig dick, fest	668	14/1	Beg. 3. Ord.

Linie des Flimmer-gruben-spaltes	Zahl der Kiemensackfalten		Afterrand	Geschlechtsapparat	Sonstiges
	rechts	links			
glatt, eing.	9(?8)	8 (?9)	glatt	O. breit bandf.; H. ein am Rande eingekerbter Belag auf O.	—
glatt, eingerollt	9, IX kl.	9, IX w.	s. schwach eingekerbt, 2-lippig	O. breit bandf., etwas verbog, H. ein den Rand lappig überragend. Belag auf O.	—
glatt, nicht eingeb.	»	?	?	O. ein breiter, etwas verbog., Stab; H. wie bei 15	—
glatt, eingerollt	9	9, IX kl.	glatt	O. ein dicker gebog. Stab; H. ein Belag auf O.	—
glatt, spiral. eingerollt	9	9	»	O. ein breiter, etwas verbog. Stab; H. ein gelappt. randständ. Saum.	—
etwas verbog., eingeb.	9, IX kl.	9, IX w.	glatt, wulst.	O. wie bei 18; H. ein am Rande lappig überragend. Belag auf O.)	—
glatt, eingerollt	8	8	»dybt tolaebet, Laebernes Rand fligede«	?	
unregelm. gebuchtet, eingeb.	9	9	gelappt (7 ?)	O. ein schlanker Stab; H. ein gleichmäßig. Belag auf O.	Darmschleife zieml. eng.
?	9, IX m.	9, IX kl.	gelappt (wen.)	O. ein dicker, unebener Stab; H. ein Belag auf O.	—
gebuchtet?	10, X kl.	10, X w.	?	O. breit ?; H. ein Belag auf O.	—
tief gebuchtet u. geschlängelt	11, X kl. XI w.	10, X kl.	gelappt (4)	O. ein unregelm. Stab mit Auswüchsen; H. ein gelappt. u. undeutl. geschlängeltes Band, das stellenweise das O. überragt	—
glatt, eingebog.	9, IX w.	8	» (4)	?, noch nicht angelegt	unreif
»	10, X kl.	9	» (10)	O. ein unregelm. Stab mit Auswüchsen u. kurzen Verästelungen; H. randständ., breit- und kurzgelappt, auf das O. übergreifend	—

Forma	Nummer	Bezeichnung	Fundort	Größte Körperlänge in *mm*	Äußere Siphonen	Zellulose-mantel	Größte Kalkkörper des Weichkörpers		Fiederung der größten Tentakel
							Länge in μ	Dicke zur Länge	
polana	27*		Rotes Meer (Tor)	27	undeutl.	dünn, mäßig fest	348	12/1	3. Ordn.
»	28*		» (Dahab)	15	»	mäßig dick, weich	410	14/1	Beg. 3. Ordn.
kyamanensis	29*		» (Umm el Kyaman)	24	zieml. gr.	dünn, fest	1044	58/1	3. Ordn. spärl.
»	30*		» »	20	gr.	dünn, weich	810	23/1	2. » »
»	31*		» (Dahab)	12	»	dünn, fest	670	26/1	2. Ordn.
»	32*		» (Umm el Kyaman)	23	»	dünn, weich	1015	64/1	2. »
»	33*		» »	10	undeutl.	»	667	34/1	2. Ordn. spärl.
»	34*		» »	9	gr.	»	400	20/1	2. » »
»	35*		» »	13	undeutl.	»	812	34/1	3. » »
»	36*		» »	12	gr.	dick, weich	1075	49/1	4. Ordn.
»	37*		» »	15	»	dünn, weich	870	38/1	?
»	38*		» »	23	»	»	928	42/1	2. Ordn.
typica	39*		» (Gimsah-B.)	25	zieml. kl	mäßig dick, weich	580	23/1	2. »
»	40*		» (Suës)	22	gr.	dünn, weich	1150	56/1	3. »
»	41*		» »	25	»	»	1330	65/1	4. Ordn. spärl.

Linie des Flimmergrubenspaltes	Zahl der Kiemensackfalten		Afterrand	Geschlechtsapparat	Sonstiges
	rechts	links			
glatt, eingerollt	9	9, IX kl.	gelappt (6)	?, noch nicht angelegt	unreif
glatt, nicht eingeb.	8	8	» (6)	?, »	»
glatt, eingerollt	10, X kl.	10, X kl.	» (6)	O. ein dünner Stab mit kurzen Seiten-Ästen, hinten verzw.; H. in randständ., die O.-Äste bogenf. umspannend. Gruppen	—
»	10, IX kl. X w.	9, IX kl.	» (4)	O. wie bei Nr. 29; H. ein Belag auf O., am Rande lappig vorragend	—
»	9, IX w.	8	» (4)	O. wie bei Nr. 29; H. eine randständ. Bogenlinie	—
?	10, X kl.	10, X kl.	» (8)	wie bei Nr. 30	—
glatt, nicht eingeb.	10, X kl.	9	» (7)	O. ein Stab mit kurzen Seiten-Ästen; H. wie bei Nr. 30	—
glatt, eingeb.	8	8, VIII kl.	» (7)	O. wie bei Nr. 29; H. kleine büschelige Gruppen an den Enden der O.-Äste.	—
glatt, eingerollt	10, X w.	10, X w.	?	?, noch nicht angelegt	unreif
glatt, wenig gebuchtet	10, IX kl. X w.	9, IX kl.	gelappt (8)	O. ein Stab mit Auswüchsen? H. in randständ. Bogensäumen, die zu einem nicht ganz geschlossenen Schlängelsaum vereint sind	—
glatt, eingeb.	10	10, X kl.	» (8)	O. wie bei Nr. 33; H. wie bei Nr. 30	—
»	11, X kl. XI w.	»	» (9)	O. ?; H. wie bei Nr. 30	—
glatt, eingerollt	9	8	?	O. verzweigt? H. wie bei Nr. 30	—
»	10, X kl.	9	gelappt (10)	?, noch nicht angelegt	unreif
»	»	9, IX kl.	?	O. ein dünner schwach welliger Stab mit vielen dünnen und dicken kurzen Seiten-Ästen; H. ein breites welliges Band, dessen Wellenbögen die des O. seitlich überragen	—

Forma	Nummer	Bezeichnung	Fundort	Größte Körperlänge in *mm*	Äußere Siphonen	Zellulose-mantel	Größte Kalkkörper des Weichkörpers: Länge in μ	Größte Kalkkörper des Weichkörpers: Dicke zur Länge	Fiederung der größten Tentakel
typica	42*		Rotes Meer (Suës)	30	gr.	dünn, weich	1450	64/1	3. Ordn.
»	43*		» (Gimsah-B.)	31	»	dick, weich	1040	48/1	3. Ordn. spärl.
»	44*		» »	40	undeutl.	dick, fest	725	21/1	3. » »
»	45*		» (Sherm Habban)	20	gr.	dünn, fest	1168	52/1	3. » »
»	46	*Cynthia momus* Sav. 1816	» »	44	»	dünn	?	?	?
»	47*		» (Suës)	60	»	dünn, fest	1827	70/1	4. Ordn.
»	48*		» (Jiddah)	45	»	»	1044	62/1	5. Ordn. spärl.
»	49*		» (Suës)	76	»	»	1300	65/1	4. Ordn.
? typica	50	*Cynthia pallida* Herdm. 1886	O.-Bandasee	35	undeutl.	dünn	?	?	»greatly branched«
japonica	51	*Pyura pallida j.* Hartmr. 1909 ...	Japan	?	kl. ?	?	?	?	?
»	52	»	»	?	kl. ?	?	?	?	?

Linie des Flimmer-gruben-spaltes	Zahl der Kiemensackfalten		Afterrand	Geschlechtsapparat	Sonstiges
	rechts	links			
glatt, nicht eingebog.	9, IX kl.	9, IX kl.	gelappt (vl.)	O. ein Stab mit kurzen Seitenästen u. Verzweigung.; H. in randständ. Bogengruppen, die sich jederseits zu einer Rundbogenborte vereinen u. außerdem noch das O. überspannende Querverbindungen bilden	—
glatt, t. eingebog.	10, X w.	10, X w.	» (13)	Wie bei Nr. 42, doch überwiegen die Querverbindungen der H., so daß eine H.-Schlängellinie deutlich hervortritt	—
glatt, eingebog.	12, XI kl.	V w. 12, VI kl. VII kl.	» (5)	?, noch nicht angelegt	unreif; Kiemensack abnorm
glatt, eingerollt	9, IX kl.	9, IX w.	» (8)	O. ein Stab mit Auswüchsen u. Verästelungen; H. ein unregelm. geschlängeltes Band, dessen Vorwölbungen das O. seitlich überragen	—
»	9	9	» (13)	O.?; H. das O. bedeckend u. am Rande überragend, zu einem geschlängelten Bande gebildet	—
glatt, eingeb.	10, X kl.	10, X kl.	» (8)	O. ein unregelm. verbog., stellenw. geschlängeltes Band mit kurzen, dicken Auswüchsen; H. ein breit geschlängeltes Band, dessen Schlängellinie stellenw. durch Verwachsungen u. Verbindungsstücke undeutl. gemacht wird	—
glatt, eingerollt	10, IX kl. X w.	9, IX kl.	» (7)	Wie bei Nr. 47; Schlängellinie der H. sehr undeutl.	—
»	10, X kl.	10, X kl.	» (vl.)	Wie bei Nr. 48	—
glatt	8	8	?	O. »a long convoluted tube«	—
glatt, t. eingebog.	10	10	?	?	—
»	11, I kl.	11, I kl.	?	?	—

Forma	Nummer	Bezeichnung	Fundort	Größte Körperlänge in *mm*	Äußere Siphonen	Zellulose-mantel	Größte Kalkkörper des Weichkörpers		Fiederung der größten Tentakel
							Länge in µ	Dicke zur Länge	
complanata	53	*Cynthia c.* Herdm. 1882...........	N. S. Wales	56	I. gr., E. kl.	dick, weich	155	26/1	?
? *complanata*	54	*Microcosmus julinii* Herdm. 1913....	»	60	undeutl.	mäßig dick	?	?	?
complanata	55	*Microcosmus julinii* Dr. 1884........	»	85	»	zieml. dick, fest	970	33/1	außerord. verzw.
grandis	56*	*Cynthia g.* Heller 1905...........	»	96	gr.	dünn, fest	2520	36/1	4. Ordn. spärl.
»	57	*Microcosmus draschei* Herdm. 1899....	»	76	?	dick, fest	?	?	?
»	58	»	»		?	»	?	?	?
»	59	»	»	bis	?	»	?	?	?
»	60	»	»	160	?	»	?	?	?

Abkürzungen in der Tabelle: Beg. = Beginn, Einbucht. = Einbuchtungen, f. = förmig, gebog. = gebogen, geschr. = Ordnung, randst. = randständig, regelm. = regelmäßig, s. = sehr, spärl. = spärlich, stellenw. = stellenweis, t. = teils oder zieml. = ziemlich.

Äußere Siphonen kommen in sehr verschiedener Ausbildung vor. Bei manchen Stücken sind sie deutlich ausgeprägt, ungefähr so lang wie dick (Nr. 30 und 32), bei anderen Stücken, anscheinend der gleichen Form, ist keine Spur von ihnen zu erkennen (Nr. 33). Manchmal erscheint der Ingestionssipho groß und deutlich, während der Egestionssipho sehr klein oder überhaupt nicht ausgeprägt ist (Nr. 7, 22—25, 53). Doch ist es fraglich, ob es sich hier in allen Fällen tatsächlich um den Ingestionssipho, und nur um diesen, handelt. So ist wahrscheinlich der angeblich an der Basis 1 *cm* breite »Branchialsipho« des Originals von *Cynthia mauritania* Drasche (l. c. 1884, p. 6, Taf. VI Fig. 1) (Nr. 7) nicht lediglich als Ingestionssipho anzusehen, sondern als das Vorderende des Körpers, an dem die Ingestionsöffnung endständig, auf einem nicht übermäßig großen eigentlichen Sipho, liegt, eine Auffassung, die auch der Herdman's von seiner ähnlich gestalteten *Cynthia complanata* (l. c. 1882, p. 145, Taf. VII Fig. 1) (Nr. 53) entspricht. Herdman bezeichnet die Ingestionsöffnung hier als »terminal« und im Gegensatz dazu die Egestionsöffnung als »slightly projecting«. Ich glaube nicht, daß die Verschiedenheit in der Größe der äußeren Siphonen lediglich als Kontraktionserscheinung zu deuten sei. Wahrscheinlich handelt es sich hierbei um eine individuelle Anpassung an verschiedene

Linie des Flimmer-gruben-spaltes	Zahl der Kiemensackfalten		Afterrand	Geschlechtsapparat	Sonstiges
	rechts	links			
unregelm. wellig gebuchtet, eingebog.	11	11	?	?	—
wellig, eingebog.	12 (? 6)	12 (? 6)	?	?	Dorsalfalte »a plain membrane«
stark zweifach wellig gebuchtet, mäandrisch, eingebog.	14	14	?	?, noch nicht angelegt	unreif
labyrinthisch	13	13	gelappt (20)	O. ein dicker, etwas gebogener Stab; H. ein Belag auf O.	—
»	11	11	?	?	—
»	12	12	?	?	—
»	13	12	?	?	—
»	15	15	?	?	(abgebildetes Original!)

geschrumpft, gr. = groß, H. = Hode oder Hoden, inkr. = inkrustiert, kl. = klein, m. = mittelgroß, O = Ovarium, Ordn. = teilweise, u. = und, undeutl. = undeutlich, verzw. = verzweigt, vl. = viele, w. = winzig, wen. = wenig, wulst. = wulstig,

äußere Lebensbedingungen. Beachtenswert ist der Umstand, daß besondere Ausbildungsweisen der äußeren Siphonen in gewissen Distrikten vorzuherrschen scheinen. So besitzen die meisten Individuen vom Nordende des Roten Meeres, vom Golf von Suës und dem von Akabah, sowie von der Djobalstraße (Nr. 30—32, 34, 36—38, 40—43, 46, 47, 49) sehr große äußere Siphonen, während die meisten Stücke von Westindien (Nr. 10—13) undeutliche Siphonen haben. Doch ist eine systematische Sonderung nach diesen Gestaltungsverhältnissen nicht durchführbar, da in Gesellschaft dieser Stücke einzelne abweichende auftreten, die systematisch nicht von ihnen getrennt werden können (Nr. 33, 35 und 44 mit undeutlichen Siphonen, Nr. 20 mit ziemlich großen Siphonen). Beachtenswert erscheint mir auch der Umstand, daß die besondere Ausbildung eines großen Ingestionssiphos bei zugleich kleinem oder undeutlichem Egestionssipho so häufig an Stücken aus dem Roten Meer (Nr. 22—25) auftritt, und zwar, was besonders auffallend ist, hier stets an Stücken, die durch besonders plumpe Gestalt der Kalkspicula im Weichkörper (f. *polana)* ausgezeichnet sind. Aber auch in diesem Falle ist keine scharfe systematische Sonderung unter Kombination dieser beiden Sondercharaktere angängig, denn es finden sich im Roten Meer andrerseits Stücke mit plumpen Kalkspicula (Nr. 26 und 27), die keinen deutlichen Ingestionssipho besitzen.

Der Zellulosemantel zeigt eine sehr verschiedene Ausbildung nach Dicke, Festigkeit, Reinheit und Durchsichtigkeit. Eine systematische Bedeutung scheint diesen Bildungsverhältnissen nicht zuzukommen. Es handelt sich, wie schon Sluiter (l. c. 1904, p. 55) ausgeführt hat, mutmaßlich um eine Anpassung an äußere Lebensverhältnisse. Eine systematische Bedeutung mag vielleicht aber in der Besonderheit des Zellulosematerials von f. *ceylonica* (Herdm.) (Nr. 3 und 4) liegen, nämlich in der Ausstattung des Zellulosemantels mit Haftfäden. Ich lasse deshalb einstweilen diese »forma« gesondert bestehen.

Die szepterförmigen Kalkkörper des Zellulosemantels zeigen wohl starke Größenunterschiede, aber keine wesentlichen Formverschiedenheiten. Die vermeintliche Abweichung dieser Körperchen bei f. *ceylonica* (Michaelsen, l. c. 1911, p. 179) ist zweifellos nur eine Verwitterungserscheinung (siehe oben, Seite 32!). Der verschiedenen Größe dieser Körperchen ist schon deshalb keine besondere Bedeutung beizulegen, weil sich bei einem und demselben Tier die verschiedensten Größen vorfinden. Im allgemeinen bringen wohl größere Tiere auch größere Kalkkörper neben den kleineren, noch unausgewachsenen zur Ausbildung. Ob die mehr schlanke oder mehr plumpe Gestaltung dieser Körperchen von Bedeutung sei, habe ich nicht festgestellt. Erwähnen muß ich noch, daß die Verteilung und Anzahl der Kalkkörper eine sehr schwankende ist. Bei manchen Stücken habe ich überhaupt keine szepterförmigen Kalkkörper im Zellulosemantel finden können.

Die spindelförmigen Kalkkörper im Weichkörper zeigen ebenfalls bedeutende Verschiedenheiten nach Länge, Form und Strukturfeinheit. Die Länge der größten in den einzelnen Tieren beobachteten Körper schwankt zwischen 79 μ (Nr. 2, nach der Abbildung des größeren Körperchens, fraglich aber, ob es das größte von Herdman bei diesem Stück beobachtete ist) und 2520 μ (Nr. 56). Die längsten findet man bei sehr großen Stücken, die kürzesten bei kleinen, doch entspricht die Länge durchaus nicht in der ganzen Formenreihe der Größe der Stücke. So findet man spindelförmige Kalkkörper von mehr als 1000 μ Länge bei geradezu winzigen Stücken, so bei einem nur 12 *mm* langen Stück von Umm el Kyaman an der Djobal-Straße (Nr. 30), und anderseits solche von nur 155 μ Länge bei dem 56 *mm* langen Original von *Cynthia complanata* (Nr. 53), allerdings vorausgesetzt, daß der größte der von Herdman abgebildeten Kalkkörper auch annähernd das Maximum der Größe darstellt. Übrigens schwankt die Maximallänge der Kalkkörper bei den Stücken eines Formenkreises so sehr, daß eine Verwertung derselben bei Charakterisierung der forma ausgeschlossen ist. Es kommt hinzu, daß es kaum möglich ist, die Maximalgröße der Kalkkörper eines Stückes ausfindig zu machen. Es ist mehrfach vorgekommen, daß ich nach ziemlich eingehender Untersuchung bereits eine vermeintliche Maximalgröße der Kalkkörper des Weichkörpers festgestellt hatte und schließlich doch noch eine bisher unbeachtete Region des Weichkörpers fand, in der noch größere vorhanden waren. Schwankend ist auch das Verhältnis von Länge zu Dicke bei den Kalkkörpern. Ein Blick auf die betreffende Spalte der Tabelle zeigt, daß es unmöglich ist, dieses Größenverhältnis zur Charakterisierung der Form heranzuziehen. Eine Ausnahme machen allerdings einige Stücke aus dem Roten Meer (Nr. 22—28), bei denen diese Verhältniszahl plötzlich auf 14 und 12 herabsinkt, während sie sonst, vielleicht noch mit Ausnahme des Originals von *Cynthia pallida billitonensis* Sluit. (Nr. 44), zwischen 20 und 70 schwankt. Die Kalkkörper der Form aus dem Roten Meer, die ich als »f. *polana*« bezeichne, sind zumal in der Mitte oder etwas vor derselben auffallend dick, gegen die Enden fast kegelförmig verjüngt. Sie zeichnen sich zugleich durch ein viel opakeres Aussehen aus und erscheinen bei auffallendem Licht kreidig weiß, bei durchfallendem Licht dunkel grau. Das hängt wahrscheinlich mit der Feinheit ihrer Struktur zusammen. Die Ringelung ist bei ihnen anscheinend viel enger und die Bestachelung dichter als bei den übrigen Formen. In anderen Hinsichten, so zumal in der besonderen Form des Afterrandes, schließen sich diese Stücke der f. *polana* aber so eng an die übrigen Stücke aus dem Roten Meer (f. *typica* und *kyamanensis*) an, daß mir die Berechtigung der Absonderung etwas fraglich erscheinen will. Ein ähnliches Verhältnis von Länge zur Dicke scheint nur noch das oben erwähnte Stück von Billiton (Nr. 14) aufzuweisen. Sluiter (l. c. 1885, p. 184) gibt als Dimensionen

an: »0·5 *mm* lang und 0·04 *mm* breit, die Hülle mitgerechnet«, also ungefähr 12·5 : 1. Ich schätze nach der Abbildung (l. c. Taf. IV Fig. 6) das Größenverhältnis der hüllenlosen Körper auf 13 : 1. Nach der in den Abbildungen (l. c. Taf. IV Fig. 2 und 10) ganz klar ersichtlichen Gestaltung des Afterrandes ist es aber unmöglich, diese Billiton-Form an f. *polana* anzuschließen.

Die Mundtentakel zeigen eine große Verschiedenheit im Grad der Fiederung. Die Fiederung ist natürlich stets an den größeren Tentakeln eines Tentakelkranzes reicher als an den kleineren Tentakeln desselben Kranzes. Um einen Vergleich der verschiedenen Formen zu ermöglichen, ziehe ich nur die größten Tentakel des untersuchten Tentakelkranzes in Betracht.

Im allgemeinen findet man bei großen Stücken eine reichere Fiederung als bei kleinen Stücken. So zeigen die kleinsten, 10 und 9 *mm* langen Stücke der f. *kyamanensis* (Nr. 33 und 34) eine fast einfache Fiederung mit nur spärlicher Andeutung einer Fiederung 2. Ordnung, während die größten Stücke der nahe verwandten f. *typica* (Nr. 47—49) eine wohl ausgebildete Fiederung 4. Ordnung, ja vielleicht gar den Beginn einer Fiederung 5. Ordnung (Nr. 48), aufweisen; doch kommen vielfach auch Abweichungen vor, zeigt doch ein sehr kleines, nur 12 *mm* langes Stück der f. *kyamanensis* (Nr. 36) bereits eine Fiederung 4. Ordnung. Es ist deshalb fraglich, ob die auf Grund der reicheren Fiederung von f. *papietensis* (Nr. 2) gesonderte f. *formosae* (l. c. 1908, p. 270) (Nr. 6) zu Recht besteht. Ich fand allerdings bei allen daraufhin untersuchten Stücken der f. *formosae* eine wohl ausgebildete Fiederung 4. Ordnung, während die größten Tentakel bei f. *papietensis* nach der Abbildung (Herdman, l. c. 1882, Taf. XVII Fig. 16) fast einfach gefiedert sind; ist doch bei ihnen die sehr spärliche Fiederung 2. Ordnung auf je eine sehr kleine warzenförmige Buckelung an zwei Fiedern 1. Ordnung der größten Tentakel beschränkt.

Auch das Flimmerorgan zeigt gewisse Verschiedenheiten. Die Grundform der Linie des Flimmergrubenspaltes ist ein nach vorn (sehr selten nach einer Seite) offenes »U«. Diese Grundform zeigt sich in ursprünglicher Einfachheit nur bei kleinen und mittelgroßen Stücken (Nr. 33: 10 *mm* lang, Nr. 2: 33 *mm* lang, Nr. 16: 27 *mm* lang und Nr. 42: 30 *mm* lang). Bei großen Stücken findet sich eine mehr komplizierte Gestaltung dieser Linie, die eine Verlängerung derselben mit sich bringt. Die Verlängerung der Linie wird einesteils dadurch bewirkt, daß sich ihre Hörner einwärts biegen[1] und mehr oder weniger weit spiralig einrollen, am weitesten bei dem sehr großen, 90 *mm* langen Exemplar der f. *pallida* von Ceylon (Nr. 18). Die Linie behält bei dieser Verlängerung im allgemeinen ihren glatten Verlauf bei und zeigt nur ausnahmsweise (Nr. 19) geringfügige Unregelmäßigkeiten. In ganz anderer Weise wird die Verlängerung der Linie des Flimmergrubenspaltes bei einer anderen, in f. *grandis* gipfelnden Entwicklungsreihe bewirkt, und zwar dadurch, daß sie sich mehr oder weniger tief und mehr oder weniger regelmäßig einbuchtet und schlängelt, zunächst in geringerem Maße (Nr. 21 und 53); bei größeren Stücken verstärkt sich die Schlängelung und wird zweifach, insofern auf den Schlängelbögen wellige Einbuchtungen einer 2. Ordnung entstehen (Nr. 55); schließlich wird bei sehr großen Stücken (Nr. 56—60) die Schlängelung so vielgestaltig, daß eine nicht mehr auflösbare Labyrinth-Linie entsteht. Die einfacheren mäandrischen oder welligen Formen lassen noch die Grundform des »U« und auch noch eine Einbiegung der Hörner des »U« erkennen, während bei den Labyrinth-Formen, anscheinend auch durch Abspaltung von Teilen des Flimmergrubenspaltes, die ursprüngliche Form ganz verloren geht, so nach der Abbildung bei *Microcosmus draschii* Herdm. (l. c. 1899, Taf. Cyn. IV Fig. 5). Ich glaube wohl, daß diesen verschiedenen Weisen der Verlängerung des Flimmergrubenspaltes eine gewisse systematische Bedeutung beizumessen ist, daß also f. *latisinuosa* und die Formengruppe *complanata-grandis* mit geschlängeltem Verlauf der Linie des Flimmergrubenspaltes von den Formen mit glattem Verlauf dieser Linie zu trennen seien. Fraglich erscheint mir aber, ob man dem Grade dieser Kompliziertheit Bedeutung beimessen, ob man nun

---

1 Manchmal biegt sich eines der beiden Hörner auch auswärts; doch habe ich diese meiner Ansicht nach unwesentlichen Ausnahmen in der Tabelle nicht besonders hervorgehoben.

auch die Formen mit mäandrischem Verlauf dieser Linie (Nr. 53—55) als f. *complanata* von den Formen mit labyrinthischem Verlauf der Linie (Nr. 56—60), der f. *grandis*, absondern solle. Wieder etwas verwirrend ist der Umstand, daß die kompliziertere *complanata*-Gestaltung der Linie des Flimmergrubenspaltes auch in einer ganz anderen Formengruppe, bei einem Stück (wenn nicht bei einigen Stücken) der f. *polana* aus dem Roten Meer auftritt (sicher nachgewiesen bei Nr. 24, vielleicht auch bei Nr. 22 und 23), während andere Stücke dieser forma (Nr. 26—28) ganz einfache, glatte Linien des Flimmergrubenspaltes aufweisen. Eine ganz abweichende Gestalt scheint das Flimmerorgan der *Cynthia rosea* Sluit. (l. c. 1887, p. 264, Taf. III Fig. 7) (Nr. 5) zu besitzen, und hauptsächlich aus diesem Grunde halte ich einstweilen auch diese Form als f. *roseola* aufrecht. Ich kann mich nicht ganz des Verdachtes erwehren, daß bei dieser eigentümlichen Gestaltung lediglich eine mäßig komplizierte *complanata*-Gestaltung des Flimmerorgans vorliege, die durch Zerrung des Objektes oder durch Pressung desselben eine absonderliche Form angenommen habe.

Die Zahl der Kiemensackfalten scheint eine besondere Bedeutung für die Abgrenzung der Formen zu besitzen, wenngleich sie auch innerhalb einer Form noch gewissen zum Teil recht beträchtlichen Schwankungen unterworfen ist. Sehr lehrreich war mir in dieser Hinsicht das Studium des reichen Materials vom Roten Meer (Nr. 22—49), das nach der eigenartigen Beschaffenheit des Afterrandes drei nahe verwandten Formen (f. *typica*, *kyamanensis* und *polana*), wenn nicht einer einzigen Form (f. *typica* s. l.) angehört. Abgesehen von drei näher zu erörternden Stücken schwankt die Zahl der Kiemensackfalten der rechten Seite zwischen 9 und 10, wozu bei zwei Stücken (Nr. 24 und 38) noch die winzige Anlage einer 11. Falte hinzukommt. Die Größe dieser 25 Stücke ist sehr verschieden. Neben weit ausgewachsenen Stücken von 60 und 76 *mm* Länge (Nr. 47 und 49) finden sich darunter sehr kleine, offenbar jugendliche und zum Teil nachweisbar unreife Stücke von 10, 13 und 12 *mm* Länge (Nr. 33, 35 und 36), die nicht einmal sämtlich das Minimum jener Faltenzahl aufweisen, sondern zum Teil (so das nur 10 *mm* lange Stück Nr. 38) rechts 10 Kiemensackfalten tragen. Hieraus geht klar hervor, daß die Faltenzahl, wenn man von ganz jungen, weniger als 10 *mm* langen Tieren absieht, nicht mit dem Wachsen der Tiere beträchtlich zunimmt, daß mit anderen Worten die endgültige Faltenzahl schon in einem sehr jungen Alter erreicht wird. Gehen wir in der Altersreihe noch weiter zurück, so scheint dann allerdings auch die Zahl der Kiemensackfalten abzunehmen. Wenigstens besitzt das eine der oben ausgenommenen Stücke (Nr. 34), das nur 9 *mm* lang ist, nur 8 Kiemensackfalten jederseits, wobei die 8. Falte des linken Seite noch dazu sehr klein ist. Ich glaube hier bei diesem winzigen, offenbar sehr jungen Stück die etwas geringere Faltenzahl doch als Jugendstadium deuten zu sollen. Auch ein etwas größeres, 15 *mm* langes unreifes Stück mit nur 8 Kiemensackfalten (Nr. 28) ist wohl als Jugendstadium zu bewerten. Eine andere der oben erwähnten Ausnahmen betrifft ein Stück (Nr. 44) mit jederseits 12 Kiemensackfalten. Es handelt sich hier aber offenbar um eine Abnormität in der Bildung der Kiemensackes; denn bei diesem Tier ist rechterseits die 11. Falte, linkerseits die 5., 6. und 7. Falte sehr verkürzt, ohne verschmälert zu sein (normalerweise sind höchstens die untersten Falten verkürzt und dann zugleich auch verschmälert). Wir dürfen dieses abnorm gebildete Tier hierbei nicht mit berücksichtigen. Als Ergebnis dieser Betrachtungen können wir feststellen, daß unter Annahme untergeordneter Schwankungen die Zahl der Kiemensackfalten sehr wohl zur Charakterisierung der Formen herangezogen werden mag. Es ist die Art der Schwankung in der quantitativen Ausbildung der Kiemensackfalten einer forma noch näher zu prüfen. Diese Schwankung beruht nicht lediglich auf der Zahl der Kiemensackfalten, sondern vielfach auch darauf, daß die untersten Kiemensackfalten verkürzt und verschmälert sind. Meist betrifft diese Verkürzung und Verschmälerung nur die unterste Falte, häufig aber auch die beiden untersten Falten einer Seite. Dann erscheint die zweitunterste Falte mäßig stark verkürzt und verschmälert, während die unterste nur als winzige Anlage in die Erscheinung tritt. Die verkürzten und verschmälerten sowie die winzigen Falten beginnen wie die übrigen Falten am Vorderende des Kiemensackes und enden, allmählich sich verlierend, nach mehr oder weniger weitem, annähernd ihrer

Größe entsprechendem Verlauf, die winzigen Anlagen also sehr bald, nachdem sie nur einen geringen Bruchteil von der Länge der Ventrallinie des Kiemensackes durchmessen haben. Mehrfach habe ich aber feststellen können, daß eine verschmälerte, sich vor der Mitte der Kiemensacklänge verlierende Falte am Hinterende des Kiemensackes, allerdings wohl in geringerer Breite, wieder auftritt, so daß die Zahl der Kiemensackfalten in der Mitte der Kiemensacklänge geringer erscheint als an den beiden Enden desselben. Eine bemerkenswerte Abweichung stellen einige Stücke der von Hartmeyer untersuchten f. *japonica* (l. c. 1906, p. 4) (Nr. 52) dar. Bei zweien von den vier Originalstücken, die durchweg 10 wohlausgebildete Falten jederseits am Kiemensack aufweisen, schiebt sich jederseits eine »rudimentäre« elfte Falte zwischen die Dorsalfalte und die obersten wohlausgebildeten Falten (eigentliche Falten I) ein.

Die Ausbildung der Kiemensackfalten ist nicht nur bei verschiedenen Stücken einer Form etwas verschieden, sondern auch an den beiden Seiten eines Stückes. Nach Maßgabe der vielen von mir untersuchten Stücke ist bei einer Verschiedenheit beider Seiten stets die rechte Seite weiter ausgebildet als die linke, sei es, daß sie eine (meist kleinere) Falte mehr besitzt als die linke Seite, sei es, daß einer wohlausgebildeten untersten Falte der rechten Seite eine verkleinerte unterste Falte der linken Seite gegenübersteht. Für die Beurteilung des aus der Literatur zu entnehmenden Tatsachenmaterials ist bedeutsam, daß sich unter den zahlreichen (mehr als 40) von mir untersuchten Stücken von den verschiedensten Fundorten nur 6 fanden, bei denen keine verkleinerten untersten Falten vorkommen, während in der Literatur, abgesehen von der obenerwähnten Angabe Hartmeyer's und von meinen eigenen Angaben, meines Wissens an keiner Stelle etwas von verkleinerten Falten bei den Formen dieses Kreises erwähnt ist. Ich vermute, daß vielfach die verkleinerten Falten, jedenfalls aber häufig die winzigen Faltenanlagen, übersehen und nicht mitgezählt worden sind.

Betrachten wir nun die verschiedenen Formen in Hinsicht auf die Ausbildung der Kiemensackfalten, so sehen wir, daß die Faltenzahl nachweisbar zwischen 7, von denen die unterste Falte auch verkleinert sein kann, bis 15 schwankt. Vielleicht müssen wir die untere Grenze dieser Schwankung noch weiter zurücksetzen, und zwar auf 6, falls nämlich auch die fast als species nuda zu bezeichnende *Cynthia mollis* Herdm. (l. c. 1891, p. 575) von Australien (Nr. 1) diesem Formenkreise angehört, und falls außerdem nicht auch bei dieser Form eine verkleinerte 7. Falte übersehen worden ist. Herdman spricht noch einer anderen Form dieses Kreises 6 Kiemensackfalten jederseits zu, nämlich dem *Microcosmus julinii* Dr. der Thetis-Expedition von N. S. Wales (l. c. 1913. p. 877: »Branchial sac with six folds on each side«) (Nr. 54). Es ist mir aber fraglich, ob hier nicht ein Schreib- oder Druckfehler vorliegt; denn das Original des *M. julinii* Dr. besitzt 14 Falten beiderseits, und Herdman stellt weiter unten diese Zahl der Kiemensackhälfte des Drasche'schen Originals der Gesamtzahl der Falten seines Exemplares gegenüber (»But there are only twelve folds in the branchial sac, not fourteen«). Vielleicht aber auch hat Herdman irrtümlicherweise die Drasche'sche Angabe als Zahl der Falten des ganzen Kiemensackes aufgefaßt, und dann müßten wir diese Thetis-Form tatsächlich als eine *Pyura momus* mit 6 Kiemensackfalten jederseits ansehen. Diese Form ist demnach fraglicherweise der ebenfalls fraglichen f. *mollis* (Herdm.) (Nr. 1) zuzuordnen. An diese fragliche f. *mollis* mit 6 Kiemensackfalten schließen sich einige Formen mit jederseits 7 Falten an, erstens f *papietensis* (Herdm.) von Tahiti (Nr. 2), zu der vielleicht auch die »species nudae« *Cynthia tenuis* Herdm. und *C. subfusca* Herdm. von Australien (l. c. 1891, p. 575) zu stellen sind, zweitens f. *formosae* (Mich.) von Formosa (Nr. 6), drittens f. *ceylonica* (Herdm.) vom Ceylon-Gebiet (Nr. 3 und 4) und viertens f. *roseola* (Sluit.) (= *Cynthia rosea* Sluit., l. c. 1887) von Java (Nr. 5). Während diese Formen mit geringsten Zahlen der Kiemensackfalten ebenso wie die unten zu erörternden mit größeren Zahlen der Falten eine anscheinend geringere geographische Verbreitung aufweisen, ist die nun zu besprechende Form mit einer mittelgroßen Zahl von Kiemensackfalten — 8 oder 9 jederseits, wobei die 9. Falte meist verkleinert ist — durch eine auffallend weite geographische Verbreitung ausgezeichnet, kommt sie, die f. *pallida* (Heller) (Nr. 7—19, wenn nicht auch 20), doch sowohl in der Südsee und im

Malayischen Archipel wie im westlichen Indischen Ozean und in Westindien vor. Der angeblichen Faltenzahl nach — jederseits 9 — vermittelt f. *latisinuosa* Sluit. (Nr. 21) von der Ost-Bandasee zwischen der f. *pallida* und verschiedenen Formen mit größerer Faltenzahl. Die nächsthöhere Faltenzahl — 9 bis 10, selten dazu noch eine winzige 11. an der rechten Seite, oder linkerseits nur 8 — finden wir bei den drei nahe miteinander verwandten, wenn nicht miteinander zu vereinenden Formen (f. *typica* und Verwandte) aus dem Roten Meer (Nr. 22—49). Ob auch die *Cynthia pallida* Herdm. von der Ost-Bandasee (Nr. 50) mit angeblich 8 Falten jederseits zu dieser Verwandtschaftsgruppe der f. *typica* zu rechnen ist, erscheint mir fraglich (siehe unten!), und ebenfalls, ob die Hartmeyer'sche Form von Japan (Nr. 51 und 52) mit 10 oder 11 Falten jederseits sich hier anschließt. Es bleiben noch die Formen mit sehr hoher Zahl der Kiemensackfalten — 11 bis 15 jederseits —, die ganz auf N. S. Wales beschränkt zu sein scheinen, und die vielleicht in zwei Formen, f. *complanata* (Herdm.) (Nr. 53—55) und f. *grandis* (Heller) (Nr. 56—60), zu spalten sind.

Die Dorsalfalte ist nach vielfacher Feststellung *Cynthia*- bezw. *Pyura*-artig: Sie besteht aus einer einfachen engen Reihe schlanker Züngelchen, die auf der mehr oder weniger hohen First eines dorsalmedianen Längswalles stehen. Bei dieser Sachlage muß es überraschen, daß Drasche unter dem Material von Sidney eine offenbar zu diesem engen Verwandtschaftskreise, genauer zu f. *complanata* bezw. f. *grandis* gehörige Form fand, bei der die Dorsalfalte »glatt« ist, und die er deshalb zu *Microcosmus* stellte, als *M. julinii* (l. c. 1884, p. 371) (Nr. 55). Später meldet Herdman von einem nahe liegenden Fundort (Jervis Bay in N. S. Wales) ein weiteres Stück, deren »Dorsal lamina a plain membrane« sein soll (l. c. 1913, p. 877) (Nr. 54), und das er trotz Abweichung in der Zahl der Kiemensackfalten jenem Drasche'schen *M. julinii* zuordnet. Ich habe oben (Seite 47) die Fraglichkeit dieser Zuordnung erörtert. Hier haben wir nur zu prüfen, ob jene Angaben uns nötigen, einen solchen bedeutsamen Unterschied zwischen den Formen einer Art anzuerkennen, ob wir innerhalb der weiten Art *Pyura momus*, und dieser gehören jene angeblich abweichenden Stücke zweifellos an, eine solche wesentliche Verschiedenheit, wie sie zur Absonderung der großen und zweifellos natürlichen Gattung *Microcosmus* von der Gattung bezw. Gattungsgruppe *Pyura* geführt hat, annehmen müssen. Ich halte eine solche Annahme auf keinen Fall für gerechtfertigt und halte es für ausgeschlossen, daß jenen *M. julinii* eine echte *Microcosmus*-Dorsalfalte zuzuerkennen sei. Es bedarf aber hierbei durchaus nicht der Annahme eines groben Beobachtungsfehlers bei der Untersuchung jener *M. julinii*; doch kann die Annahme einer mißverständlichen Deutung gewisser Bildungen an der Dorsalseite des Kiemensackes nicht von der Hand gewiesen werden. Vielleicht haben jene Untersuchungsobjekte, je ein einziges Stück, tatsächlich keine Dorsalfaltenzüngelchen, wie sie für *Pyura* charakteristisch sind, besessen. Vielleicht haben v. Drasche und Herdman den manchmal firstförmig erhabenen Dorsalfaltenträger oder auch die vielleicht ziemlich weit nach hinten gehenden und dorsalmedian verschmelzenden hinteren Flimmergrubenbänder für eine glatte bezw. membranartige Dorsalfalte gehalten. Bemerkenswert ist jedenfalls, daß in der Drasche'schen Abbildung (l. c. Taf. III Fig. 2) die sich hinter dem Flimmerorgan zusammenschließenden Flimmerbogen noch weiter nach hinten hinziehen und hier wohl eine schmale membranartige Dorsalfalte vortäuschen mögen. Das Fehlen der Dorsalfaltenzüngelchen bei den in Rede stehenden beiden Stücken könnte auf verschiedene Weise erklärt werden. Die Züngelchen mögen infolge schlechter oder ungünstiger Konservierung abgefallen oder durch Parasiten abgefressen oder abgestoßen sein. Vielleicht aber auch liegt hier eine individuelle Rückbildung vor, wie sie bei einer anderen *Pyura*-Art, bei *P. stoloniferera* (Heller)[1] als Alterserscheinung auftritt und mich veranlaßte, gewisse erwachsene Formen jener Art als besondere Gattung *Cynthiopsis* von den übrigen Formen jener Art abzusondern.[2] Auch Formen jener echten *Pyura*-Art wurden von v. Drasche[3] und von Sluiter[4] offenbar unter

1 Vergl. die eingehende Erörterung Hartmeyer's in: Ascid. Deutsch. Südpolar-Exp. 1901—1903, p. 556.

2 Michaelsen, in: D. stolidobr. Ascid. deutsch. Tiefsee-Exp., p. 200.

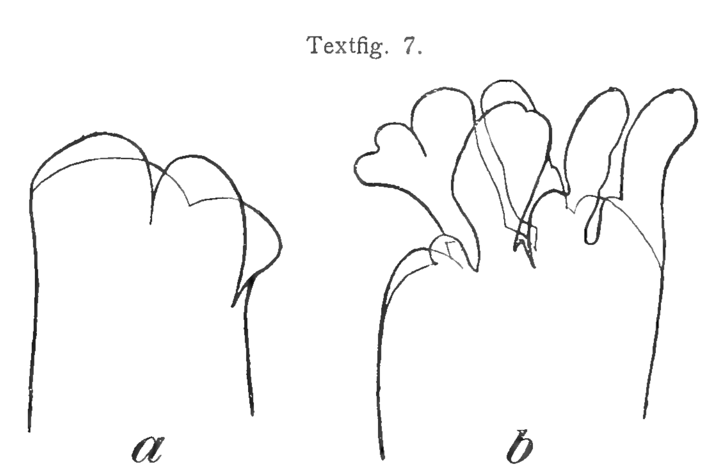
3 *Microcosmus herdmanii* v. Drasche, l. c. 1884, p. 2, Taf. II Fig. 3—7.

4 *Microcosmus coalitus* Sluiter, in: Beitr. Fauna S.-Afrikas II. Tunic. v. S.-Afrika, p. 57, Taf. II Fig. 8, Taf. VII Fig. 9 u. 10

Verkennung der dorsalmedianen Ausläufer der Flimmerbogen irrtümlich zu *Microcosmus* gestellt. Ich spreche nach diesem auch jenen beiden als *Microcosmus julinii* bezeichneten Stücken die *Microcosmus*-Natur ab und stelle sie als vollberechtigte Glieder zu *Pyura momus*.

Der Darm bildet bei *P. momus* im allgemeinen eine sehr weite und weit offene Schleife. Eine Abweichung hiervon zeigt aber besonders das Original von *Cynthia latisinuosa* Sluit. (l. c. 1904, p. 55) (Nr. 21), bei der die Darmschleife ziemlich eng ist und eine ziemlich enge Öffnung besitzt. Ich habe schon oben (Seite 32) erwähnt, daß ich dieser Besonderheit keine große Bedeutung beimesse, sie vielmehr für eine individuelle Anpassung an die auffallend längliche Gestalt des Stückes — es ist ungefähr doppelt so lang wie breit — halte. Eine ebensolche Verengung der Darmschleife zeigt ein ähnlich gestaltetes Stück der f. *pallida* von Cuba (Nr. 13), das auf keinen Fall von dem am gleichen Fundort gesammelten kürzeren und mit deutlich weiterer Darmschleife ausgestatteten Stück (Nr. 12) getrennt werden darf. Die Struktur der Leber scheint keine bedeutsamen Sondermerkmale für die Trennung der Formen zu liefern. Ich habe von jeder mir zur Verfügung stehenden Form mindestens ein Stück darauf hin untersucht. Die Leber beruht auf einer spongiösen Umbildung der Magenwandung, die bei gut konservierten größeren Stücken durch unregelmäßige, sehr kurz- und breit-schlauchförmige gegabelte Ausstülpungen hervorgerufen erschien. Zu äußerst trägt diese spongiöse Grundlage der Leber einen sehr dichten Besatz stummelförmiger bis kurz-schlauchförmiger Leberzotten, die ganz dicht und unregelmäßig gestellt sind, aber rasenartig eine fast ebene Fläche bilden, abgesehen von den großen unregelmäßigen Polsterwölbungen der Leber. Die Dicke der Leberzotten scheint sehr gleichmäßig zu sein und nicht etwa mit der Größe der Tiere zuzunehmen. Ich fand die Leberzotten bei den kleinsten Stücken (z. B. von f. *formosae*, Nr. 6) wie bei den größten Stücken (z. B. von f. *typica*, Nr. 49, und von f. *grandis*, Nr. 56) ungefähr 90 µ dick. Der Gestaltung des Afterrandes kommt meiner Ansicht nach bei *P. momus* eine sehr große Bedeutung für die Sonderung der Formen zu. Auch in dieser Hinsicht war das Studium des Materials vom Roten Meer sehr lehrreich. Unter den mehr als 27 von mir untersuchten Stücken waren 4, deren Afterrand ich infolge ungünstiger Konservierung oder Präparierung nicht erkennen konnte. Alle übrigen, also mehr als 23 Exemplare, besaßen wie das Original der *Cynthia momus* Sav. (Nr. 46) einen deutlich und lang gelappten Afterrand. Die Zahl der Lappen war ungemein wechselnd, sie schwankt nach meinen Beobachtungen zwischen 4 (Nr. 30 und 31, Textfig. 7*a*) und 13 (Nr. 43, Textfig. 7*b*). Auch die Breite der Lappen ist sehr verschieden. Häufig sind sie annähernd gleich breit (Textfig. 7*a*), häufig aber auch von sehr verschiedener Breite (Textfig. 7*b*). Sie sind nach meinen Befunden nur selten dreiseitig, wie sie in der

Textfig. 7.



Pyura momus (Sav). f. *kyamanensis*, n. f. (*a*) und f. *typica* (*b*). *a* = weniglappige (Nr. 30 der Tabelle) und *b* = viellappige (Nr. 43 der Tabelle) Form des Afterrandes, schematisch; 8/1.

Savigny'schen Abbildung erscheinen (l. c. 1816, Taf. VI Fig I H«). Meist sind sie gerundet, vielfach am freien Ende viel breiter als an der Basis und an der freien Endkante eingekerbt, mehr oder

weniger unregelmäßig herzförmig, oder sie sind auch mehrfach gelappt (Textfig. 7*b*). Auch ihre Länge ist sehr verschieden. Meist sind sie länger als breit. Diesem stark gelappten Afterrande steht als anderes Extrem der glatte oder höchstens schwach eingekerbte oder (infolge ungünstiger Konservierung?) etwas verschrumpfte Afterrand, wie er unter anderem für f. *pallida* charakteristisch ist, gegenüber. Dieser im allgemeinen glatte Afterrand zeigt vielfach an den Schmalseiten oder an einer der beiden Schmalseiten eine mehr oder weniger deutliche Einkerbung, so daß er mehr oder weniger deutlich zweilippig erscheint. Einen glatten, mehr oder weniger deutlich zweilippigen Afterrand weisen außer f. *pallida* (Nr. 7—19) noch f. *ceylonica* (Nr. 4 [und 3?]) und f. *formosae* (Nr. 6) auf. Einen gelappten Afterrand besitzen außer f. *typica* (Nr. 39—49) und den ihr mindestens sehr nahe stehenden f. *polana* (Nr. 22—28) und f. *kyamanensis* (Nr. 29—38) noch f. *latisinuosa* mit ca. 7 Lappen (Nr. 21) und f. *grandis* mit ca. 20 ziemlich gleich großen Lappen (Nr. 56 [53—60?]) auf. Für die übrigen Formen fehlen Angaben oder sicher deutbare Angaben. Eine solche von mir nicht sicher deutbare Angabe ist die Traustedt's über die Form des Afterrandes seiner *Cynthia pallida* von Dänisch-Westindien (l. c. 1883, p. 120) (Nr. 20). Traustedt gibt an: »Anus dybt tolaebet; Laebernes Rand fligede.« »Fligede« muß ich nach meinem deutsch-dänischen Wörterbuch (flig = Zipfel) mit »gezipfelt« übersetzen. Ist darunter eine Besetzung des im übrigen zweilippigen Afterrandes mit einer größeren Zahl von Zipfeln zu verstehen, oder muß es so aufgefaßt werden, daß jede der beiden Afterrandlippen am Ende in einen einzigen Zipfel ausgezogen ist? Nach der ersteren Deutung wäre diese Form des Afterrandes als gelappt zu bezeichnen und der der f. *typica* zuzuordnen; nach der anderen Deutung läge hier ein glatter zweilippiger Afterrand vor, wie er für f. *pallida* charakteristisch ist. Da sich diese westindische Form in allen anderen Hinsichten an f. *pallida* anschließt, und da auch alle übrigen westindischen Stücke der f. *pallida* angehören, so glaube ich, dieser zweiten Deutung den Vorzug geben zu sollen, und ordne das Traustedt'sche Material unter Vorbehalt einer späteren Änderung der f. *pallida* zu.

Die Geschlechtsorgane (Taf. I Fig. 19—21) zeigen bei *Pyura momus* manche Verschiedenheiten. Es sind stets längliche Zwitterorgane. Das Ovarium liegt basal und in der Mittellinie des ganzen Organs. Es ist ein mehr oder weniger breiter Stab mit mehr oder weniger deutlichen kurzen Zweigen und Verästelungen und Wucherungen. Die Hodenbläschen liegen als krausenförmige Gruppen an den beiden Seiten des Ovariums, das sie am proximalen Ende umfassen, z. B. bei *Cynthia mauritiana* Dr. (Nr. 7), oder sie treten von den Kanten her auf das Ovarium hinauf, das sie dann mehr oder weniger vollständig überdecken, z. B. bei *Halocynthia pallida typ.* von Huahine (Michaelsen l. c. 1908, p. 78: Nr. 15). Vielfach ragen sie kaum über die Seitenränder des Ovariums hinüber, sondern sind fast ganz auf das Ovarium hinaufgerückt, einen mehr oder weniger vollständigen Belag auf dem Ovarium bildend, z. B. bei f. *latisinuosa* (N. 21). Die Ausmündungen liegen am meist schmäleren distalen Ende des ganzen Organes, der Eileiter als kurze Röhre mit weitem, unregelmäßig zugeschnittenem Mündungsrande, der Samenleiter dicht daneben als ungefähr ebenso lange, aber viel engere Röhre mit vierzipfeligem Mündungsrande.

Eine ganz besondere Bildung zeigt die von mir näher untersuchte Verwandtschaftsgruppe der f. *typica*, bei der gewisse extreme Formen, zumal ausgewachsene Stücke, sehr weit von der allgemeinen Form des Geschlechtsapparates, wie er auch bei den meisten kleineren Stücken der Verwandtschaftsgruppe der f. *typica* auftritt, abweichen. Bis zu einem gewissen Grade handelt es sich hier wahrscheinlich um eine besondere Wachstums- oder Altersform, die aber in verschiedenem Grade und in verschiedenem Stadium zur Ausbildung gelangen kann. Das kleinste von mir näher untersuchte Stück (Nr. 34, Taf. I Fig. 17), ein nur 9 *mm* langes Exemplar, zeigte folgende Gestaltung: Das Ovarium ist ein dünner Strang, von dem im distalen und mittleren Teil kurze und ungefähr ebenso dicke Seitenäste ausgehen, während der proximale Teil in einer Ebene, also dem Innenkörper überall eng anliegend, mehrfach verästelt ist. Seitlich vor dem Blind-Ende jedes Ovarial-Astes, oder dicht daneben, etwas verschoben, liegt eine büschelige Gruppe von 4 bis 9 (einmal nur eine einzige) mehr oder weniger regel-

mäßig birnförmigen Hodenbläschen, die distal mehr oder weniger weit miteinander verwachsen und in einen zunächst noch ziemlich breiten, dann aber enger werdenden Sonderausführgang übergehen. Diese Sonder-Ausführgänge ziehen sich, mehr oder weniger eng an die Ovarial-Äste angelegt, zur Mittellinie des ganzen Organs hin und scheinen sich hier zu einem an den Hauptstamm des Ovariums angeschmiegten Samenleiter zu vereinen (nicht genau erkannt, Samenleiter anscheinend kollabiert). Ein sich hieran anschließendes Entwicklungsstadium zeigt ein 24 *mm* langes Stück (Nr. 29, Taf. I Fig. 20). Bei diesem zeigt das Ovarium die fast gleiche Gestaltung wie bei dem oben beschriebenen; doch sind die Ovarial-Äste zum Teil am Ende unregelmäßig kolbig verdickt oder auch an der Basis verdickt. Die Gruppen der Hodenbläschen haben sich vergrößert, sowohl der Zahl der Hodenbläschen wie ihrer Breite nach; als bogenförmige Krausen umkränzen sie die Ovarial-Äste, mit ihren Seitenteilen in die Buchten zwischen den Ovarial-Ästen eingreifend. Hier stoßen sie zum Teil mit den benachbarten Hodenbläschengruppen zusammen und verschmelzen mit ihnen. Sie bilden auf diese Weise an jeder Seite des Ovariums eine das Ovarium am proximalen Ende umfassende, aber noch lückenhafte und an manchen Stellen weit unterbrochene Rundbogenborte. Bei weiterem Wachstum (Nr. 42) schreitet die Wucherung der Hode fort, und die Enden der bogenförmigen Hodenbläschengruppen treten auf die freie Oberseite des Ovariums hinauf und verschmelzen hier mit denen von der Gegenseite zu queren, das Ovarium überspannenden Bändern; auch überdecken die Hodenbläschengruppen mit ihrer jetzt beträchtlicheren Breite mehr oder weniger die Blind-Enden des Ovariums. Es findet also eine zweifache Verschmelzung der anfangs gesonderten Hodenbläschen-Gruppen statt, eine zu Rundbogenborten führende Verschmelzung der benachbarten Gruppen und eine zur Bildung von das Ovarium überspannenden Querbändern führende Verschmelzung von sich gegenüber liegenden Gruppen. Da die Hodenbläschengruppen wie die Ovarial-Äste häufig alternierend gestellt sind, so verbindet sich vorwiegend der proximale Ast einer linksseitigen Hodenbläschengruppe mit dem distalen einer rechtsseitigen, oder umgekehrt. Es kommt hierdurch eine Art Schlängellinie der Hodenbläschenkrausen zustande, und vielfach überwiegt diese Art der Verwachsung so sehr, daß fast die ganze Masse der Hode ein die Oberseite des Ovariums bedeckendes und an den Rändern das Ovarium überragendes Schlängelband bildet. Das Ovarium behält hierbei im allgemeinen seine Gestaltung bei; doch es paßt sich etwas dem Schlängelbande der Hode an, indem es sich ebenfalls zu einer nicht ganz regelmäßigen Schlängellinie zusammenkrümmt. Es sind aber die Schlängelungen des mit Seiten-Ästen versehenen Ovarialstabes bei weitem nicht so breit wie die des Hodenbandes, die die Rundbögen des Ovariums abwechselnd rechts und links weit überragen (Nr. 41, Taf. I Fig. 21). Die weiter folgende Ausbildung des Geschlechtsapparates beruht auf einer Vergrößerung der einzelnen Teile, die nur dadurch noch bedeutsame Veränderungen des Bildes hervorruft, daß die Vergrößerung der Hode mehr in der Fläche, die des Ovariums dagegen in ganzer Dicke erfolgt. Die hauptsächlich nach der Mittellinie des ganzen Geschlechtsapparates hinneigende Verbreiterung der ursprünglich randständigen Rundbogenborten der Hode führen zu einer mehr oder weniger gleichmäßigen Überdeckung des Ovariums. Aber auch die Verbreitung der geschlängelten Hodenbänder bringt eine mehr oder weniger vollständige Bedeckung des Ovariums zustande, insofern sich die Windungen bei der Verbreiterung des Bandes eng aneinanderschmiegen, so daß bei Betrachtung des auseinandergeklappten Innenkörpers von der Innenseite kaum etwas vom Ovarium zu erblicken ist. So erscheint der Geschlechtsapparat bei den mir vorliegenden großen Stücken von Suës (Nr. 47 und 49), die im oberflächlichen Aussehen ganz mit der Abbildung Savigny's von seiner *Cynthia momus* (l. c. 1816, Taf. VI Fig. i K'') übereinstimmen. Das von Savigny in der Zeichenerklärung (l. c. p. 214) als »ovaire« bezeichnete Organ entspricht tatsächlich dem ganzen Geschlechtsapparat, von dem aber in der Abbildung nur die Hode sichtbar ist. Abgesehen von gewissen Unregelmäßigkeiten erscheint der Geschlechtsapparat in dieser Ausbildung als ein distal schmäler, proximal breiter geschlängeltes dickes Band. Daß in diesem Bande der Verlauf des Ovarialstabes nicht ganz kongruent mit dem des Hodenbandes ist, läßt sich bei äußerlicher Betrachtung nicht erkennen. Keiner der von mir untersuchten Geschlechtsapparate ist ganz regelmäßig

geschlängelt. Wenigstens im distalen Drittel, meist in den distalen zwei Dritteln, zeigen sich gewisse Unregelmäßigkeiten, Verwachsungen benachbarter Windungen am Außenrande und abgeschnürte kreisförmige Teile. Auch bei dem Savigny'schen Original mögen im distalen Drittel Unregelmäßigkeiten vorgekommen sein; da in der betreffenden Abbildung (l. c.) die vordere Randpartie des distalen Teiles des Geschlechtsapparates vom Enddarm überdeckt ist, so konnten etwaige Unregelmäßigkeiten hier nicht zur deutlichen Anschauung kommen. Diese Unregelmäßigkeiten sind nicht ohne Bedeutung für die Beurteilung der Bildung des Geschlechtsapparates. Es sind die Überreste jener seitlichen Verwachsung von zwei oder mehreren an einer Seite nebeneinander stehenden Hodenbläschengruppen, die ja ursprünglich gesondert angelegt sind, jener Verwachsung, die zu der Bildung von Rundbogenborten führte, wie sie im jüngsten Stadium auch bei f. *typica* auftreten, und wie sie bei den meisten anderen Formen von *P. momus* auch der Bildung des ausgewachsenen Geschlechtsapparates zugrunde liegen. Diese Unregelmäßigkeiten deuten also auch darauf hin, daß dem für ausgewachsene Stücke der f. *typica* charakteristischen Schlängelverlauf nicht zugleich eine Schlängellinie der Anlage zugrunde liegt, sondern daß dieser Schlängelverlauf ein sekundärer Charakter ist, erworben durch sekundär und nicht überall ganz regelmäßig auftretende Querverbindungen der einander alternierend schräg gegenüberliegenden Hodenbläschengruppen. Es ist die Frage, ob der Ausbildung der Schlängellinie der Hode eine besondere systematische Wertigkeit beigemessen werden solle, mit anderen Worten, ob man die Formen, in denen die ausgewachsene Hode infolge medialer Wucherung der Rundbogenborten einen mehr gleichmäßigen Belag des Ovariums bildet, und jene, in denen sie ein Schlängelband bildet, voneinander trennen soll. In den Jugendformen ist eine solche Sonderung wohl kaum möglich. Da jedoch die anscheinend ausgewachsenen Formen im Aussehen des Geschlechtsapparates recht verschieden sind, so bezeichne ich die Form mit gleichmäßigem Hodenbelag als f. *kyamanensis,* während die Form mit geschlängeltem Hodenbande als f. *typica* bezeichnet werden muß. Die f. *polana,* charakteresiert durch die plumpe Gestalt der Kalkkörperchen des Weichkörpers, stimmt in der Bildung des Geschlechtsapparates wahrscheinlich mit f. *kyamanensis* überein. An f. *typica* muß vielleicht eine der Herdman'schen Formen angeschlossen werden, nämlich dessen *Cynthia pallida* von der Ost-Bandasee (l. c. 1886, p. 406) (Nr. 50). Herdman sagt von dieser Form, daß die Ovarien »in the form of a long convoluted yellow tube« auftreten. Diese 35 *mm* lange Form soll aber nur 8 Kiemensackfalten jederseits besitzen, eine so geringe Zahl, wie sie bei f. *typica* auch in den kleinsten Stücken nicht auftritt und bei der nahe verwandten f. *kyamanensis* nur in ganz jungen, 9 *mm* langen Exemplaren gefunden wird. Leider sagt Herdman nichts über die Form des Afterrandes, die für die Beurteilung des Verhältnisses zu f. *typica* maßgebend ist.

Zum Schluß dieser allgemeinen Erörterung über *Pyura momus* gebe ich noch eine Zusammenstellung der verschiedenen Formen, soweit sie sich nach unseren jetzigen Kenntnissen charakterisieren lassen:

? f. **mollis** (Herdm.), f. inqu. — *Rhabdocynthia mollis* Herdm. 1891, p. 575. — *? Microcosmus julinii* Herdman 1913, p. 877 (Nr. 1 und 54?).

Diagnose: Kiemensack mit 6 Falten rechterseits.

Verbreitung: Australien.

F. **papietensis** (Herdman). — *Cynthia pallida* (part.) Herdman 1881, Prel. Rep. Challenger III, p. 61. — *? Rhabdocynthia subfusca* Herdman 1891, p. 575. — *? Rh. tenuis* Herdman, 1881, p. 575 (Nr. 2).

Diagnose: Kiemensack mit 7 Falten rechterseits; größte Mundtentakel mit spärlicher Fiederung 2. Ordn.; Linie des Flimmergrubenspaltes glatt (zirka 23 *mm* lang).

Verbreitung: Tahiti, ? Australien.

F. ***ceylonica*** (Herdm.). — *Rhabdocynthia ceylonica* Herdman 1906, p. 309. — *Pyura pallida ceylonica,* Michaelsen 1908, p. 270. — *P. ceylonica,* Michaelsen 1911, p. 178 (Nr. 3 und 4).

Diagnose: Kiemensack mit 7 Falten rechterseits; größte Mundtentakel mit Fiederung 2. Ordn.; Linie des Flimmergrubenspaltes glatt; Afterrand glatt; Zellulosemantel mit zottenartigen Anhängen; Hode in randständigen Gruppen. Klein (zirka 20 *mm* lang).

Verbreitung: Ceylon-Archipel.

F. ***roseola*** Hartmr. — *Cynthia rosea* Sluiter 1887, p. 264. — *Rhabdocynthia r.* Herdman 1891, p. 575. — *Pyura roseola* Hartmeyer 1909, p. 1341 (Nr. 5).

Diagnose: Kiemensack mit 7 Falten rechterseits; Flimmerorgan muschelförmig; Linie des Flimmergrubenspaltes vorn mit tiefen, schmalen Einbuchtungen; Hode randständig. Mäßig groß (zirka 30 *mm* lang).

Verbreitung: Java.

F. ***formosae*** Mich. — *Pyura pallida formosae* Michaelsen 1908, p. 267 (Nr. 6).

Diagnose: Kiemensack mit 7 Falten rechterseits; größte Mundtentakel mit spärlicher Fiederung 4. Ordn.; Linie des Flimmergrubenspaltes glatt; Afterrand glatt, 2-lippig; Hode ein lappiger Belag auf dem Ovarium. Klein (zirka 20 *mm* lang).

Verbreitung: Formosa.

F. ***pallida*** (Hell.). — *Cynthia pallida* Heller 1878, p. 96. — *C. mauritiana* Drasche 1884, p. 375. — *C. pallida billitonensis* Sluiter 1885, p. 183. — *Rhabdocynthia mauritiana* + *Rh. pallida* (part.) + *Rh. p. billitonensis,* Herdman 1891 p. 575. — *Halocynthia pallida typica* + f. *mauritiana,* Michaelsen 1905, p. 78. — *Pyura pallida typica,* Michaelsen 1908, p. 270 (Nr. 7—19 [20?]).

Diagnose: Kiemensack mit 8 oder 9 Falten rechterseits; Linie des Flimmergrubenspaltes glatt, selten stellenweise schwach gebuchtet; Afterrand glatt oder höchstens schwach eingekerbt (geschrumpft?); Hode randständig und ein mehr oder weniger lappiger Belag auf dem Ovarium. Zum Teil ziemlich groß (bis 90 *mm* lang).

Verbreitung: Huahine, Palau-I., Malayischer Archipel, Ceylon-Archipel, Mauritius, Ostafrika (Golf von Aden, Deutsch-Ostafrika), Kapland, Westindien (St. Thomas, Cuba, Jamaica), Kolumbien (Cartagena).

F. ***latisinuosa*** Sluit. — *Rhabdocynthia latisinuosa* Sluiter 1904, p. 55. — *Pyura l.,* Hartmeyer 1909, p. 1340 (Nr. 21).

Diagnose: Kiemensack mit 9 Falten rechterseits; Linie des Flimmergrubenspaltes unregelmäßig eingebuchtet; Darmschleife ziemlich eng; Afterrand gelappt (mit etwa 7 Lappen?); Hode ein gleichmäßiger Belag auf dem Ovarium. Ziemlich groß (etwa 70 *mm* lang).

Verbreitung: Ost-Bandasee.

F. ***polana,*** **n. f.** — (Nr. 22—28). Vielleicht mit f. *typica* zu vereinen.

Diagnose: Kiemensack mit 9 oder 10 Falten rechterseits; Linie des Flimmergrubenspaltes glatt; Afterrand stark gelappt (mit etwa 6 Lappen); Hode ein annähernd gleichmäßiger Belag auf dem Ovarium; spindelförmige Kalkkörperchen des Weichkörpers plump, höchstens 14mal so lang wie dick. Mäßig groß (bis 44 *mm* lang).

Verbreitung: Rotes Meer.

F. ***kyamanensis*** **n. f.** — (Nr. 29—38). Vielleicht mit f. *typica* zu vereinen.

Diagnose: Kiemensack mit 10 Falten oder noch dazu einer winzigen 11. Falte rechterseits; Linie des Flimmergrubenspaltes glatt; Afterrand stark gelappt (mit 4 bis 9 Lappen); Hode in jüngerem Stadium randständig, in älterem Stadium einen mehr oder weniger gleichmäßigen Belag auf dem Ovarium bildend; spindelförmige Kalkkörperchen des Weichkörpers schlank (mindestens 20mal so lang wie dick). Klein (bis 24 *mm* lang).

Verbreitung: Rotes Meer.

F. ***typica*** (Sav.). — *Cynthia momus* Savigny 1816, p. 143. — *? C. pallida* part. (Stücke von Ost-Bandasee), Herdman 1866, p. 405. — *? Halocynthia momus*, Sluiter 1905, p. 13. — *Pyura momus*, Hartmeyer 1909, p. 1340 (Nr. 39—49 [50]?). — Vielleicht sind f. *polana*, n. f. (Nr. 22—28) und f. *kyamanensis*, n. f. (Nr. 29—38) dieser f. *typica* einzuverleiben.

Diagnose: Kiemensack selten mit 9 Falten, meist dazu mit einer kleinen 10. Falte rechterseits; Linie des Flimmergrubenspaltes glatt; Afterrand stark gelappt (mit 5—13 Lappen); Hode bei großen Tieren wenigstens im proximalen Teil des Geschlechtsapparates ein das Ovarium bedeckendes und überragendes, breit geschlängeltes Band (bei jüngeren Tieren in randständigen Gruppen?); Kalkkörperchen des Weichkörpers mehr oder weniger schlank, mindestens 21mal so lang wie dick. Zum Teil groß (bis 76 *mm* lang).

Verbreitung: Rotes Meer, ? Golf von Aden, ? Ost-Bandasee.

F. ***japonica*** Hartmr., f. inqu. — *Halocynthia pallida*, »Japanische Form«, Hartmeyer 1906, p. 4. — *Pyura pallida japonica* Hartmeyer 1909, p. 1340. — (Nr. 51 und 52.)

Diagnose: Kiemensack mit 10 Falten rechterseits oder dazu einer kleinen 11. Falte neben der Dorsalfalte; Linie des Flimmergrubenspaltes glatt.

Verbreitung: Japan.

F. ***complanata*** (Herdm.). — *Cynthia complanata* Herdman 1881, p. 62. — *C. c.*, Herdman 1882, p. 145. — *Microcosmus julinii* Drasche 1884, p. 371. — *M. j.* + *M. draschii* + *Rhabdocynthia complanata*, Herdman 1891, p. 575. — *Halocynthia grandis* (part.), Michaelsen 1905, p. 85. — *Pyura pallida grandis* (part.), Michaelsen 1908, p. 270. — *P. p. g.* (part.), Hartmeyer 1909, p. 1340. — *? Microcosmus julinii*, Herdman 1913, p. 877. — (Nr. 53—55.) Vielleicht mit f. *grandis* zu vereinen.

Diagnose: Kiemensack mit 11—14 Falten rechterseits; Linie des Flimmergrubenspaltes stark eingebuchtet bis zweifach eingebuchtet, mäandrisch. Groß, im unreifen Zustand bis 85 *mm* lang).

Verbreitung: N. S. Wales.

F. ***grandis*** (Heller). — *Cynthia grandis* Heller 1878, p. 97. — *C. g.*, Herdman 1891, p. 577. — *Halocynthia g.* (part.), Michaelsen 1905, p. 85. — *Pyura pallida grandis*, Michaelsen 1908, p. 270. — *P. p. g.*, Hartmeyer 1909, p. 1340. — (Nr. 56—60.) Wahrscheinlich ist f. *complanata* (siehe oben Nr. 53—55) dieser Form einzuverleiben.

Diagnose: Kiemensack mit 11—15 Falten rechterseits; Linie des Flimmergrubenspaltes labyrinthisch; Afterrand stark gelappt, mit etwa 20 Lappen; Hode ein Belag auf dem Ovarium. Sehr groß (bis 160 *mm* lang).

Verbreitung: N. S. Wales.

Gen. Microcosmus Heller.

1877 *Microcosmus* Heller, Unters. Tunic. Adriat. Mittelm. III, p. 243.
1913 *Hartmeyeria* Ritter, Ascid. northeast. Pacific, p. 461.

Wenige Ascidiengattungen bilden eine so einheitliche Gruppe wie die Gattung *Microcosmus*. Die Organisation ist bei den verschiedenen Arten im ganzen so einförmig, daß die Sonderung der Arten nur durch Heranziehung möglichst vieler Merkmalskategorien und bei kritischer Sichtung derselben möglich ist. Leider sind die vorliegenden älteren Beschreibungen — ich nehme meine eigenen nicht aus — sehr ungleichmäßig gehalten und zum Teil sehr lückenhaft. Dies sowie die kritiklose Aufnahme systematisch minderwertiger individueller Eigenheiten in die Diagnosen erschwert sehr die Beurteilung älterer Arten und die Einordnung neuen Materials; besonders auch die Beurteilung der geographischen Verbreitung der einzelnen Arten wird dadurch ganz unsicher. Wenn z. B. Sluiter[1]) eine Form aus der Sundasee mit *M. propinquus* Herdm.[2]) von der Baßstraße indentifiziert,

[1]) Sluiter, Tunic. Siboga-Exp. I. Soc. holosom. Ascid., p. 51.

[2]) W. A. Herdman, Rep. Tunic. Challenger I. Simple Ascid., p. 132, Taf. XIV Fig. 5, 6.

so kann ich das nicht als gerechtfertigt anerkennen, denn *M. propinquus* ist meiner Ansicht nach eine „species inquierenda" (Herdman erwähnt z. B. nichts von der Organisation des Darmes und der Geschlechtsorgane), die erst durch Nachuntersuchung des Originals oder wenigstens lokaltypischer Stücke klargestellt werden muß. Die Zuordnung des malayischen Stückes zu dieser südaustralischen Art ist um so weniger gerechtfertigt, als sie in einem der wenigen von Herdman angegebenen bedeutsameren Besonderheiten (Zahl der Kiemenspalten in einer Masche) vom Original stark abweicht. Ähnlich steht es mit anderen nicht näher begründeten Zuordnungen.

Mit der Gattung *Microcosmus* vereine ich die Gattung *Hartmeyeria* Ritter (l. c. 1913, p. 461), die von *Microcosmus* durch den Besitz eines schlanken Körperstieles und von Atrialtentakeln abweichen soll. Beide angeblichen Sonderbildungen sind für eine Gattungssonderung durchaus belanglos. In vielen Ascidiengattungen, so auch in der nahe verwandten Gattung *Pyura,* kommen neben ungestielten Formen gestielte Formen und Übergänge zu solchen vor, ohne daß es möglich und angebracht erscheint, eine generische Sonderung auf diese Besonderheit, die manchmal nicht einmal Wert für eine Artensonderung hat[1]), zu gründen. Übrigens zeigen auch einige typische *Microcosmus*-Arten mehr oder weniger deutliche Stielbildung, so z. B. *M. miniaceus* Sluit.[2]) und *M. biconvolutus* Sluit.[3]) Ebenso belanglos ist der Besitz von Atrialtentakeln, die ich auch bei *M. pupa* (Sav.), einem typischen *Microcosmus,* nachweisen konnte (siehe unten!), und die wahrscheinlich auch noch bei anderen *Microcosmus*-Arten vorkommen, ohne bisher erwähnt worden zu sein.

Im folgenden will ich einige der hier in Frage kommenden Merkmalskategorien näher erörtern. Ich benutze diese Gelegenheit, die früher von mir veröffentlichten Beschreibungen einiger unten nicht näher erörterten Arten auf Grund von Nachuntersuchungen zu ergänzen.

Körpergestalt und äußere Siphonen bieten in dieser Gattung meiner Ansicht nach nur wenige bedeutsame Merkmale. Die meist sehr unregelmäßige Gestalt und auch die Länge der äußeren Siphonen ist zweifellos sehr durch äußere Lebensbedingungen beeinflußt. Das Vorkommen eines stark ausgesprochenen schlanken Stieles mag als Artmerkmal für *M. [Hartmeyeria] triangularis* (Ritter) Bedeutung haben.

Bedeutsam ist zweifellos die Gestalt der Innendorne an der Zellulosemantel-Auskleidung im Innern der Siphonen; doch kommen auch hierin Variationen vor, abgesehen von manchen Verschiedenheiten an einem und demselben Tier in verschiedenen Zonen des Siphos. Bemerkenswert ist die verschiedene Ausbildung dieser Organe bei der Art *M. exasperatus,* eine Verschiedenheit, die zu der Sonderung der Formen (subsp. *typica* und subsp. *australis* — siehe unten!) geführt hat.

Herdman erwähnt bei verschiedenen seiner Arten eine Faltenbildung der Innenauskleidung des Ingestionssiphos, ein branchiales Velum, das verschiedene Gestalt (ringförmig, vierlappig) aufweisen kann. Diese Bildungen erscheinen mir bedeutsam; doch wäre noch nachzuweisen, inwieweit Kontraktionserscheinungen Einfluß auf diese Bildung haben. Vielleicht glätten sich diese Falten bei einer Streckung oder Dehnung des Siphos aus. Eine Nachuntersuchung ergab, daß auch *M. sulcatus* (Coq.) und *M. senegalensis* Mich. dieses branchiale Velum besitzen (je 3 Stücke untersucht). Bei *M. senegalensis* ist es ringförmig, am Rande zart und eng kräuselig. Bei *M. sulcatus* ist es kragenförmig, annähernd glattrandig, bei einem Stück (von unbekannter Herkunft, angeblich von Grönland), ventral breit unterbrochen (?), bei einem anderen Stück (von Neapel) ventral durch zwei bogenförmige, durch Lücken gesonderte Lappen ersetzt (vielleicht besaß auch das erstere Stück solche Lappen ?). Bei dem dritten Stück (von Nizza) war das branchiale Velum zerfetzt und seiner Gestalt nach nicht klarzustellen.

---

1) Z. B. bei *Pyura spinifera* Qu. Gaim. var. *intermedia* Mich. (= *Boltenia spinosa* [laps!] var. *intermedia* Mich.) W. Michaelsen 1908, Pyurid. (Halocynth.) Nat. Mus. Hamburg, p. 232, Taf. I Fig. 8.

2) Sluiter, Tunic. Stillen Ocean, p. 31, Taf. IV Fig. 6.

3) Sluiter, Tunic. Chazalie Antilles, p. 26.

Bei den meisten daraufhin näher untersuchten Arten sind fadenförmige Siphonalpapillen nachgewiesen worden. Auch bei *M. senegalensis* konnte ich neuerdings an der Innenwand der Basalpartie des Egestionssiphos derartige Siphonalpapillen erkennen. Dieselben sind hier nicht sämtlich rein fadenförmig, sondern zum Teil im distalen Drittel lanzettlich verbreitert, ungefähr 170 μ lang und im Maximum 20 μ breit, in der dünneren Stielpartie nur etwa 12 μ dick.

Ein atriales Velum ist bei manchen Arten deutlich ausgebildet, so auch bei *M. senegalensis* wie ich nachträglich feststellen kann, nicht deutlich dagegen bei *M. sulcatus.*

Am atrialen Velum, und zwar nicht gerade am Rande desselben, sondern etwas unterhalb, stehen manchmal Siphonalpapillen, die in ihrer Gestalt von den übrigen mehr oder weniger abweichen, so bei *M. pupa,* wo sie deutlich plumper sind (siehe unten!) und bei *M. senegalensis,* wo sie von gleicher Form wie die übrigen (teils fadenförmig, teils distal lanzettlich), aber größer sind. Ich stellte eine solche lanzettliche Velumpapille von *M. senegalensis* als 260 μ lang und im Maximum 30 μ breit fest. Diese besonders gestalteten atrialen Velumpapillen sind wahrscheinlich nichts anderes als die bei vielen Ascidien nachgewiesenen Atrialtentakel, die demnach wahrscheinlich als umgewandelte Siphonalpapillen anzusehen sind und nicht ohne weiteres den Mundtentakeln an die Seite gestellt werden dürften

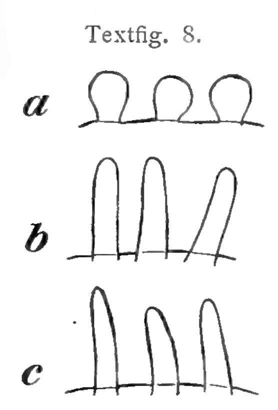
Auch das Vorkommen von Endocarpen am Innenkörper und ihre Zahl und Anordnung ist zu beachten, und zwar ist zu unterscheiden zwischen freien Endocarpen und solchen, die mit dem Geschlechtsapparat und dem Darm in Verbindung stehen, als mehr oder weniger gesonderte Wucherungen der Bindegewebshüllen. Bei *M. senegalensis* fehlen freie Endocarpe vollständig. Bei *M. sulcatus* fanden sich einige wenige, zum Teil sehr große freie Endocarpe: Bei dem Stück von Neapel jederseits 3, rechterseits hinten neben dem Endostyl, linkerseits vorn ventral, bei dem Stück von unbekannter Herkunft (angeblich von Grönland) jederseits eines in ungefähr gleicher Lage, bei dem Stück von Nizza rechterseits eines hinten neben dem Endostyl (links war bei diesem Stück infolge der Zerfetzung des Innenkörpers ein sicherer Nachweis nicht mehr möglich).

Bei den Mundtentakeln mag der Grad der Fiederung bedeutsam sein, zu messen an der Höhe der Fiederungsordnung, die an den größten Tentakeln erreicht wird. Aber auch hierbei ist mit einer gewissen Variabilität zu rechnen; konnten doch bei *M. sulcatus* Formen mit einfacher Fiederung der größten Tentakel und Formen mit Fiederung 2. Ordnung sowie Übergänge zwischen beiden Formen nachgewiesen werden (Michaelsen, l. c. 1908, p. 283).

Am Kiemensack ist die Zahl der Falten für die Art-Charakterisierung wichtig. Eine Variabilität scheint nur bei den höheren Faltenzahlen (8 und mehr, z. B. bei *M. exasperatus*) vorzukommen und auch hier nur auf dem Hinzukommen von verkürzten und schmäleren bis winzigen Falten (Rudimente oder Neuanlagen) zu beruhen. Auch die Zahl der Kiemenspalten, zu messen an den breitesten Maschen in den Faltenzwischenräumen, ergibt Sondermerkmale. Zu beachten ist hierbei, daß die Maschen in den Räumen neben dem Endostyl häufig verbreitert sind und eine besonders hohe Zahl von Kiemenspalten enthalten. Manche Arten weisen Papillen am Kiemensack auf, anscheinend stets an den Seiten des Endostyls, manchmal aber auch an den Quergefäßen und an den Längsgefäßen, und zwar manchmal an der Innenseite, manchmal an der Außenseite des Kiemensackes. Hierbei ist zu unterscheiden zwischen echten Papillen und Scheinpapillen, nämlich papillenähnlichen Erhabenheiten an den äußeren feinsten, die Kiemenspalten trennenden Längsgefäßen, die als Rudimente der Träger vorzeitig endender, feinster parastigmatischer Quergefäße anzusehen sind. Ich war anfangs geneigt, dem Papillenbesatz eine hohe systematische Bedeutung beizumessen, und wahrscheinlich kommt sie ihm auch zu. Ich wurde jedoch in der Abschätzung dieser Merkmalskategorie wieder etwas unsicher, als ich bei einem Roten-Meeres-Stück, das sonst durchaus dem mit Papillen an den feinsten Längsgefäßen ausgestatteten *M. pupa* (Sav.) vom Golf von Suës glich, derartige Papillen vermißte oder wenigstens nicht deutlich nachweisen konnte. Es ist die Frage, ob es sich hier um eine zu sondernde Varietät handelt, oder ob bei *M. pupa* individuelle Variabilität in der Ausbildung dieser Organe vorkommt. Diese Frage kann wohl nur durch Untersuchung reicheren Materials gelöst werden.

Der Darm und zumal der Verlauf der Darmschleife, ob wenig oder stark gebogen oder gar überhängend, ob eng geschlossen oder am Wendepol klaffend, ist für die Charakterisierung der Art so bedeutsam, daß nach meiner Ansicht eine Art, in deren Beschreibung nichts vom Darm erwähnt wird, als »species inquirenda« behandelt werden sollte. Ein bedeutsames Merkmal scheint mir auch die Struktur der sogenannten Leber darzubieten, die bei *Microcosmus* im allgemeinen sehr gleichförmig gebildet zu sein scheint, im feineren aber doch beachtenswerte Verschiedenheiten aufweist. Sie erscheint stets (?) als polsterförmiger Belag am Magen, der aus mehr oder weniger deutlich gesonderten (gelappter Umriß) oder inniger verschmolzenen (einfacherer Umriß) Teilstücken besteht. Im feineren wird das Leberpolster durch eng aneinander geschmiegte Falten der Magenwandung gebildet, die äußerlich als parallelrandige, an den Enden gerundete, mehr oder weniger lange Wälle (oder, falls sie stärker vortreten, Blättchen) mit derberer Seitenwand und dünnhäutiger Firstlinie in die Erscheinung treten. Diese kleinen Teilstücke, die an der Außenfläche der Leber stets deutlich hervortreten, bezeichne ich als Leberfältchen. Sie haben, zumal falls sie etwas länglicher sind, fast das Aussehen von Gehirnfalten. Sie sind durchweg viel kürzer als die Breite der ganzen Leber, manchmal stellenweise sehr verkürzt, bis kaum länger als breit. Zu diesen Leberfältchen kommen noch feine zottenförmige Anhänge, die ich als Leberzotten bezeichne, und die in Anpassung an die Ordnung der Leberfältchen meist eine kurz-reihen- oder doppel reihenförmige Anordnung aufweisen. An manchen Stellen der Leber scheinen diese Zotten zu fehlen, doch habe ich sie bei keinem Stück ganz vermißt. Zum Teil wenigstens scheint das Fehlen der Leberzotten auf ihrer Hinfälligkeit zu beruhen. (Besonders bei der Färbung und bei Überführung der Präparate in Kanadabalsam fielen manchmal sämtliche Leberzotten des behandelten Leberstückes ab.) Die Gestalt dieser Leberzotten (Textfig. 8 u. 9) scheint für die Art charakteristisch und meist nur in gewissem Grade variabel zu sein. Beachtenswert ist, daß die Kontraktion bei der Abtötung und weiteren Behandlung der Tiere keinen Einfluß auf die Form dieser Organe, die einer Muskulatur entbehren, zu haben scheint. Bei *M. sulcatus*, und zwar bei allen drei untersuchten Stücken gleicherweise, zeigt die Leber folgende Struktur: Die Leberfältchen haben eine Breite von etwa 130—170 μ und sind zum Teil stark verkürzt bis fast kreisförmig im Umriß. Die Leberzotten (Textfig. 8*a*) sind sehr plump, dick birnförmig, dünn-gestielt, fast als gestielt-kugelig zu bezeichnen. Sie haben eine Länge von etwa 70 μ bei einer Dicke von etwa 60 μ am angeschwollenen Teil. Bei *M. senegalensis* sind die Leberfältchen durchweg schmäler als bei *M. sulcatus* und als bei allen anderen von mir untersuchten Formen, nämlich durchschnittlich nur etwa 90—110 μ breit, dabei ziemlich gleichmäßig lang. Die Leberzotten (Textfig. 8*b*) sind bei *M. senegalensis* fingerförmig, basal eher dicker als apikal, etwa 160 μ lang bei einer mittleren Dicke von etwa 40 μ. Eine beachtenswerte Variabilität in der Gestaltung, zumal in der Länge und Dicke dieser Organe, fand ich nur bei der auch sonst etwas variablen und zugleich weltweit verbreiteten Art *M. exasperatus* Hell. (siehe unten! S. 64, 65 und Textfig. 9). Ob die Gestalt des Afterrandes, glatt oder gelappt, für die Art konstant ist, bedarf noch der Feststellung. Gegen die Konstanz dieser Bildung spricht der Umstand, daß ich bei drei Stücken des *M. sulcatus* einen glattrandigen After fand, während Traustedt's *M. vulgaris*[1]), der wohl nur mit *M. sulcatus* identifiziert werden kann, an der freien Lippe des Afters einige wenige große Lappen haben soll.

Textfig. 8.



Leberzotten verschiedener *Microcosmus*-Arten, im Profil, schematisch; 75/1. *a* von *M. sulcatus* Coq. von Neapel, *b* von *M. senegalensis* Mich. von Gorée, *c* von *M. pupa* (Sav.) von Suës.

Beachtenswert ist schließlich noch die Gestaltung des Geschlechtsapparates. Zumal sollte stets angegeben werden, ob der der linken Seite ganz oder zum Teil im Lumen der Darmschleife oder oberhalb der Darmschleife liegt.

---

1) Traustedt, D. einf. Ascid Golf. Neapel, p. 475.

Microcosmus pupa (Sav.).

(Taf. I Fig. 10—12, Textfig. 8c [oben, S. 57]).

1816 *Cynthia pupa* Savigny, Anim. s. vert. II[1], p. 151, Taf. V Fig. 2.

? ? 1882 *Microcosmus anchylodeirus* (sp. inquir.) Traustedt, Vestind. Ascid. simpl. And. Afd., p. 46, Taf. VI Fig. 18.

? 1883 *Cynthia microcosmus?* Keller, Fauna Suezkanal, p. 21.

? ? 1891 *Microcosmus anchylodeirus*, Herdman, Rev. Class. Tunic., p. 574.

1909 *Microcosmus pupa* + ? ? *M. anchylodeirus*, Hartmeyer, Tunic., in: Bronn, Kl. Ordn. Tierr., p. 1345, 1344.

Fundangaben: Suës, am Strande; E. Bannwarth, Mai 1913 (1 Stück). Rás el Millan; R. Hartmeyer, 21.—27. Dezember 1901 (3 Stücke). Gimsah-Bucht; R. Hartmeyer, 11.—17. Jänner 1902 (1 Stück). ? var.: Rotes Meer, ohne nähere Angabe; Hemprich & Ehrenberg (1 Stück).

Ältere Angabe: Golf von Suës (nach Savigny 1816); ? zwischen Suës und Port Tewfik (nach Keller).

Weitere Verbreitung: ? ? Westindien, St. Thomas (nach Traustedt 1882).

Die mir vorliegenden Stücke eines *Microcosmus* mit jederseits 7 Kiemensackfalten können als lokaltypische Stücke des *M. pupa* (Sav.), dessen Original aus dem Golf von Suës stammte, angesehen werden: Sie stimmen in allen wesentlichen Punkten mit dem Original überein. Da seit der Originalbeschreibung, die nicht lückenlos ist, keine Angaben über diese Art gemacht worden sind, so gebe ich im folgenden eine Diagnose der Art und eine genaue Beschreibung des mir vorliegenden Materials.

Diagnose: Ziemlich klein, angewachsen, mit ziemlich weit voneinander entfernt liegenden äußeren Siphonen und körneliger bis knotig unebener Körperoberfläche.

Innendorne etwa 130 μ lang, mit schlank-kegelförmigem, sehr schwach gebogenem und scharfspitzigem Dorn.

Zellulosemantel sehr fest, zäh, biegsam, dünn.

Endocarpe fehlen.

Branchialvelum undeutlich (mehrfach ringförmig?).

Kiemensack mit 7 wohlausgebildeten Falten jederseits. Echte Papillen an der Innenseite des Kiemensackes (manchmal Papillen undeutlich, wenn nicht fehlend, var. ?).

Darm eine weit klaffende, nicht ganz geschlossene, bis etwas über die Mitte des Körpers nach vorn ragende Schleife bildend, deren End-Äste in gleichmäßiger Rundung nach oben-vorn hin abgebogen sind.

Leberfältchen fast blattförmig, Leberzotten fingerförmig, basal nicht verengt, 130—160 μ lang und 30—33 μ dick.

Afterrand ganz glatt.

Geschlechtsapparate zwittrig, jederseits ein unregelmäßig umrandetes, sonst einheitliches Polster bildend, der der linken Seite die ganze Darmschleife überdeckend und allseitig mehr oder weniger weit über dieselbe hinausragend.

Beschreibung. Die Körpergestalt ist, abgesehen von den äußeren Siphonen, bei allen sechs mir vorliegenden Stücken dick und breit oval, seitlich sehr wenig zusammengedrückt (nach Savigny: »irregulier un peu ovoide«). Die größte Körperdimension liegt parallel der durch die Dorsalfalte markierten Rückenlinie; die senkrecht hierzu in der Mediane liegende Achse ist etwas mehr als halb so lang und sehr wenig größer als die größte Breite des Tieres. Die äußeren Siphonen sind deutlich ausgeprägt, aber nicht lang (nach Savigny: »Orifices . . . peu saillans«), dick warzenförmig, so lang wie dick oder wenig dicker als lang. Der Ingestionssipho liegt dicht am Vorderende des Körpers an der Dorsalseite, der Egestionssipho ungefähr die halbe Länge der größten Körperachse hinter dem Ingestionssipho, dicht hinter der Mitte der Rückenlinie. Beide Siphonen ragen ungefähr in gleicher Richtung, nahezu senkrecht zur Rückenlinie, aufwärts; der Egestionssipho ist manchmal sehr wenig zurückgeneigt.

Dimensionen: Das größte Exemplar zeigt folgende Größenverhältnisse: Größte Körperachse 33 *mm*, dorsoventrale Achse 20 *mm*, Breite 16 *mm*, Länge der äußeren Siphonen 4 *mm*, Dicke der äußeren Siphonen 5 *mm*. Das kleinste mir vorliegende Stück besitzt eine größte Körperachse von 14 *mm* Länge, ist also ungefähr so groß wie das Originalstück (nach Savigny: »Grandeur, 6 lignes« [= zirka 13·5 *mm*]).

Bodenständigkeit: Die Tiere waren, soweit es sich an den abgerissenen Exemplaren erkennen ließ, mit einem Teil der linken Seite, meist dem ventralen Teil derselben, angewachsen.

Die Körperoberfläche ist mehr oder weniger uneben, körnelig und knotig, manchmal auch etwas runzelig. Zumal an den äußeren Siphonen und an der Rückenseite sind die Unebenheiten beträchtlich. Das kleinste Stück ist fast eben, wenn auch nicht glatt, sondern im allgemeinen ziemlich feinkörnelig, nur an den Siphonen und an der Rückenseite mit größeren flach-warzenförmigen Erhabenheiten (nach Savigny: »Corps . . . ride«). Bei den kleinsten Stücken ist die Körperoberfläche fast rein; bei dem großen Stück zeigt sie einen wenn auch noch ziemlich spärlichen Fremdkörperbesatz, bestehend aus kleinen pflanzlichen Organismen und einigen großen Foraminiferen. Außerdem zeigt die Körperoberfläche bei mikroskopischer Untersuchung einen feinen Schlammbesatz, der aber die Oberflächenskulptur nicht zu verschleiern vermag (nach Savigny: »incrusté de fibrilles de Conferves«).

Dornenbewaffnung: Die Kuppe der äußeren Siphonen zeigt eine sehr charakteristische Bewaffnung mit Mündungsdornen, die ohne scharfen Absatz in die etwas abweichende Dornenbewaffnung an der Innenauskleidung der Siphonen, die sogenannten Innendorne, übergeht. Die Innendorne (Taf. I, Fig. 115 *a, b)* an der Innenauskleidung der Siphonen, die zu vier ziemlich hochaufragenden Längswällen gefaltet ist, sind schlank, im ganzen (Dorn samt Basalschuppe) etwa 130 μ lang. Der frei aufragende Dorn ist schlank kegelförmig, sehr schwach gebogen, sehr scharf zugespitzt, ungefähr 65 μ lang und an der Basis etwa 10 μ dick. Die Basalschuppe ist ziemlich stark gebogen, im mittleren und proximalen Teil fast drehrund, nur schwach abgeplattet. Distalwärts ist die Basis der Basalschuppe in zwei mehr oder weniger deutliche und schlanke, divergierende Spitzen ausgezogen, die durch schwimmhautartige Säume mit der Basis des aufragenden Dornes verbunden sind. In dem Winkelraum zwischen den beiden divergierenden Spitzen bildet die Basis der Basalschuppe meist noch eine kleine Vorwölbung, von der sich die Vorderkante des aufragenden Dornes erhebt. Der Dorn ist in der proximalen Hälfte hohl, und diese Höhlung mündet an der Basis der Basalschuppe durch eine kommaförmige, vorn gerundete Öffnung. Die Dornen an der Kuppe der äußeren Siphonen, die Mündungsdorne (Taf. I Fig. 12 *a, b),* sind zunächst den Körperöffnungen noch ebenso gestaltet wie die Innendorne an der Innenauskleidung der Siphonen. Weiter außen an den Siphonen werden sie kürzer, ohne jedoch an Dicke abzunehmen, und zugleich werden die beiden von den nach vornhin divergierenden Spitzen der vorderen Schuppenbasis ausgehenden und sich in die Höhe ziehenden schwimmhautartigen Säume länger, so daß sie am Dorn bis an dessen Spitze hinaufreichen. Im Profil erscheinen diese Mündungsdorne wegen der seitlichen Säume viel breiter. Tatsächlich sind jedoch die eigentlichen Dorne dünner, so daß die mediane Vorwölbung des Basalplattenumrisses, wie sie an den Innendornen der inneren Siphonenauskleidung auftritt, bei diesen äußeren Mündungsdornen in Wegfall kommt. Von oben gesehen erscheinen diese eigentlichen Dorne spitz-blattförmig, mit verdickter Medianpartie und dünnhäutigen, abwärtsgebogenen Seitenpartien. Die äußeren Mündungsdorne an der Außenseite der Siphonen wiesen eine durchschnittliche Länge von etwa 65 μ auf, wovon etwa 35 μ auf den frei aufragenden Teil, den eigentlichen Dorn, entfallen.

Die Färbung der Tiere ist hellgelblich- bis bräunlich-grau (nach Savigny: »blanchâtre«).

Die Körperöffnungen liegen an der Kuppe der äußeren Siphonen zwischen vier meist stark erhabenen Wülsten. Sie sind klein, mehr oder weniger deutlich kreuzförmig (nach Savigny: »petits, . . . fendus tous deux en croix«).

Der Zellulosemantel ist sehr fest und zäh, aber biegsam, wie bei dem Original dünn, fast undurchsichtig, an der Innenseite perlmutterglänzend.

Der Weichkörper haftet mehr oder weniger fest am Zellulosemantel. Seine Form weicht nicht wesentlich von der äußeren Körperform ab.

Der Innenkörper ist dünn, aber ziemlich fest, überall mit kräftiger, aus dicken, mehr oder weniger weit voneinander getrennten Bändern bestehender Muskulatur versehen, die ein ziemlich regelmäßiges, grobfaseriges, engmaschiges Netzwerk darstellt. Beachtenswert ist die verschiedene Dicke der Muskelbänder in verschiedenen Körperregionen und der scharfe Absatz, den die Gruppen der dickeren Muskelbänder aufweisen, wie er in der Savigny'schen Abbildung (l. c. Taf. V Fig. 2) zur Darstellung gekommen ist. Freie Endocarpen sind nicht vorhanden.

Die basale Partie der Innenwand des Ingestionssiphos ist von der apikalen Innendornpartie durch einen schmalen, etwas unregelmäßigen Ringwall scharf abgesetzt. Dieser Ringwall sieht fast wie ein Branchialvelum aus, ist jedoch vielleicht nicht als solches anzusprechen, da sich nach unten hin noch einige ebensolche oder ähnliche Ringwälle eng an ihn anschließen. Nach unten werden diese Ringwälle unregelmäßiger und lösen sich in Ringelreihen von breiten, in einer Zone auch längeren Wülsten auf. Diese ganze Praetentakularzone trägt eine Anzahl sehr lange und sehr schlanke fadenförmige Papillen von durchschnittlich etwa 0·25 *mm* Länge und 14 μ Dicke. Die Anzahl dieser Siphonalpapillen ist verhältnismäßig gering; ich schätze sie auf etwa 40. Sie stehen dementsprechend weit zerstreut. Ähnliche, aber beträchtlich kleinere Siphonalpapillen finden sich in der Basalregion des Egestionssiphos. Diese atrialen Siphonalpapillen sind etwa 0·06 *mm* lang bei einer durchschnittlichen Dicke von etwa 7 μ. Nach außen, gegen die Egestionsöffnung hin, ist diese Papillenregion durch ein scharf ausgêprägtes, mäßig breites, kreisrundes Atrialvelum abgesetzt. An diesem Velum stehen etwa 30 Papillen, die ungefähr ebenso lang sind wie die geschilderten atrialen Siphonalpapillen, dabei eine aber etwas andere, mehr kegelförmige Gestalt haben. Sie sind bei einer Länge von durchschnittlich etwa 0·06 *mm* an der Basis meist etwa 14 μ dick. Einzelne wenige sind etwas dünner und schlanker und nähern sich damit in ihrer Form den zerstreuten atrialen Siphonalpapillen, denen sie morphologisch meiner Ansicht nach verwandt sind. Sie sind als Atrialtentakel zu bezeichnen, und diese Atrialtentakel sind wahrscheinlich, wie ich schon oben auseinandersetzte, als umgebildete Siphonalpapillen anzusehen, also nicht in Parallele mit den Mundtentakeln zu stellen. Übrigens stehen die Atrialtentakel nicht am freien Rande des Velums, sondern teils an dessen Oberseite, teils an dessen Unterseite. Außerhalb des Velums, also an der Innenseite des eigentlichen Egestionssiphos, habe ich keine Siphonalpapillen erkennen können.

Der Mundtentakelkranz besteht bei *M. pupa* aus ungefähr 24 zusammengesetzten Tentakeln von sehr verschiedener Größe, die unregelmäßig abwechselnd nach verschiedener Größe geordnet sind. Die größten Tentakel weisen eine Fiederung 3. Ordnung auf. Die Fiedern 2. Ordnung sind bei diesen Tentakeln meist wie die 1. Ordnung abgeplattet, kurzmesserförmig; die Fiedern 3. Ordnung sind zylindrisch, mit etwas angeschwollenem freien Ende, ähnlich den Ambulakralfüßchen von Asteriden. Die kleineren Tentakel sind zum Teil nur winzig, mit wenigen zylindrischen Fiedern 1. Ordnung versehen. Sie mögen zwischen den großen Tentakeln leicht übersehen werden, und dadurch, wenn nicht durch die geringere Körpergröße, erklärt sich vielleicht auch die geringere Zahl der von Savigny am Originalstück beobachteten Mundtentakel (»quatorze à seize, grêles, bipinnés«, l. c. 1816, p. 154).

Das Flimmerorgan (Taf. I Fig. 10) ist ein niedriges Polster mit schmalem Flimmergrubenspalt. Dieser Flimmergrubenspalt ist bei dem einen näher untersuchten Stück hufeisenförmig, mit eingerollten Hörnern, nach vorn offen, bei einem anderen Stück dagegen stark in die Breite gezogen, schräg gestellt, nach vorn-links offen, ebenfalls mit eingerollten Hörnern (nach Savigny, l. c. 1816, p. 154: »à deux spires involutées«).

Der Kiemensack trägt bei allen näher untersuchten Stücken wie bei dem Originalstück jederseits 7 wohl ausgebildete Falten. Die Zahl der Längsgefäße ist an der ventralen Seite der Falten beträchtlich geringer als an der dorsalen. Ich zählte an der rechten Seite eines näher untersuchten Stückes 9—14 Längsgefäße auf den einzelnen Falten, 1—3 auf den Faltenzwischenräumen, rechts: D. 1 (4 + 7 = 11) 1 (4 + 8 = 12) 1 (3 + 8 = 11) 3 (4 + 10 = 14) 4 (4 + 8 = 12) 3 (3 + 7 = 10) 3 (4 + 5 = 9) 0 E. Die Quergefäße zeigen mancherlei Unregelmäßigkeiten. In regelmäßigen Teilen des Kiemensackes sind sie nach dem Schema 1 s 4 *s* 3 *s* 4 *s* 2 *s* 4 *s* 3 *s* 4 *s* 1 angeordnet. Feinste parastigmatische Quergefäße (*s*) kommen allgemein vor. Nur wenigen Maschen fehlen sie. Hierin liegt vielleicht ein nicht unbedeutsamer Unterschied zwischen *M. pupa* einerseits und *M. sulcatus* (Cloqu.) sowie *M. senegalensis* Mich. andrerseits, bei denen parastigmatische Quergefäße nur stellenweise (*M. sulcatus*) oder gar sehr spärlich (*M. senegalensis*) auftreten. Eine Nachuntersuchung des *M. sene-*

galensis ergab, daß parastigmatische Quergefäße bei dieser Art nur ganz ausnahmsweise auftreten, und nur als Verlängerung einzelner unregelmäßiger, vorzeitig endender Quergefäße höherer Ordnung. So fand ich an einem ungefähr $1^1/_2$ *qcm* großen Stück eines Kiemensackes nur ein einziges parastigmatisches Quergefäß von der Länge einer halben Maschenbreite. Bei der auffallenden Kleinheit der Maschen und der damit zusammenhängenden Kürze der Kiemenspalten, wie sie für diese Art charakteristisch ist,[1] ist hier auch gar keine Gelegenheit zur Bildung parastigmatischer Quergefäße vorhanden. Wie ich in der Beschreibung eines als *M. scrotum* bezeichneten Stückes angab[2], sollen bei *M. sulcatus* dünnere Quergefäße »meist regelmäßig mit feinsten sekundären Quergefäßen alternierend« gefunden werden. Die neuere Untersuchung eines Kiemensackstückes desselben Exemplares zeigte, daß das in jener Angabe gebrachte »meist« jedenfalls nicht für alle Teile des Kiemensackes zutrifft, finde ich doch in dem jetzt vorliegenden Teil des Kiemensackes dieses *M. sulcatus (M. scrotum)* nur spärliche sekundäre oder parastigmatische Quergefäße. *M. pupa* zeigt am Kiemensack noch eine andere Besonderheit, die dem *M. sulcatus* und dem *M. senegalensis* fehlt, wie eine Nachuntersuchung dieser beiden Arten ergab. Bei *M. pupa* sitzen an der Innenseite des Kiemensackes, und zwar an den feineren primären und den feinsten parastigmatischen Quergefäßen, sowie an den feinsten, die Kiemenspalten trennenden äußeren Längsgefäßen zerstreut kleine knotige und warzenförmige Papillen. An den inneren Längsgefäßen sind tatsächlich wohl keine Papillen vorhanden; doch stehen meist ein Paar besonders große basal dicht neben den inneren Längsgefäßen an den Enden der sie kreuzenden feineren Quergefäße. Sehr große fingerförmige Papillen stehen schließlich noch ziemlich zahlreich an den lateralen Abhängen des Endostyls. Bei dem von Hemprich und Ehrenberg gesammelten Stück aus dem Roten Meer (ohne nähere Fundangabe) konnte ich derartige Papillen an der Innenseite des Kiemensackes nicht deutlich erkennen. Sie schienen bei diesem Stück, das im übrigen keine wesentlichen Abweichungen von den Stücken aus dem Golf von Suës zeigt, zu fehlen. Wie schon oben erwähnt, halte ich es für fraglich, ob hier eine besondere Varietätenbildung oder eine individuelle Variabilität vorliegt. Soweit *Microcosmus*-Arten mit jederseits 7 Kiemensackfalten in Betracht gezogen werden, sind derartige echte Kiemensackpapillen nur bei *M. miniaceus* Sluit. von den Hawayischen Inseln[3] gefunden worden. Bei dieser Art stehen jedoch besonders große, fingerförmige Papillen in dichten, fast geschlossenen Reihen an den inneren Längsgefäßen, die bei *M. pupa,* abgesehen von den erwähnten Papillen an ihrer Basis, frei von Papillen sind. Im übrigen finde ich Kiemenspalten-Papillen nur noch bei einer Art mit 6 Kiemensack-Falten jederseits erwähnt, nämlich bei *M. arenaceus* Sluit.[4], die unserer Roten-Meeres-Art sonst anscheinend recht fern steht (großer Unterschied in der Gestalt des Flimmerorganes u. a.). Bei *M. arenaceus* sollen diese Papillen jedoch ganz auf die parastigmatischen Quergefäße beschränkt sein; auch stehen sie hier vielleicht etwas regelmäßiger als bei *M. pupa,* bei dem sie allerdings auch der Anlage nach an den Kreuzungspunkten der parastigmatischen Quergefäße mit den sekundären Längsgefäßen stehen.

Die Dorsalfalte ist ein langer, mäßig breiter, glatter und glattrandiger Saum.

Der Darm (Taf. 1 Fig. 10) liegt an der linken Seite des Kiemensackes. Er bildet eine weit klaffende, auch distal nicht ganz geschlossene Schleife, die schräg nach vorn-unten etwas über die Mitte des Körpers vorragt, und deren End-Äste in ziemlich gleichmäßiger Rundung nach oben-vorn hin abgebogen sind. Der Ösophagus ist eng und glatt, gebogen, mäßig lang. Der Magen liegt am Hinterrande des Tieres fast quer, bezw. senkrecht zur Rückenlinie. Er weist im Innern einige Längsfalten auf und ist bei Betrachtung von der Innenseite (der Kiemensackseite) ganz von einer großen Leber bedeckt. Die Leber entspricht, wie auch der innere Bau des Magens und wie der Bau des Darmes im ganzen, der Angabe Savigny's (l. c. p. 152). Sie besteht aus

---

1 Michaelsen, Tunic., in: Beitr. Kenntn. Meeresfauna Westafrikas, I, p. 378.

2 Michaelsen, Pyurid. [Halocynthiid.] Naturh. Mus. Hamburg, p. 284.

3 Sluiter, Tunic. Stillen Ozean, p. 31, Taf. VI Fig. 5.

4 Sluiter, Tunic. Siboga-Exp. I, Soc. u. holosom. Asc., p. 53, Taf. XI Fig. 16 u. 17.

zwei in der Färbung etwas verschiedenen hintereinander liegenden, aber in fast ganzer Breite miteinander verwachsenen Teilen. Der Cardiateil ist am Rande einige Male tief eingeschnitten, fast gelappt; der Pylorusteil ist am Rande nur schwach eingekerbt. Ihrer Struktur nach erscheint die Leber als ein breites, mäßig stark erhabenes, den Magen bedeckendes und hinten etwas überragendes Polster, das sich aus vielen parallelrandigen, ziemlich stark erhabenen, fast blattförmigen, eng aneinandergeschmiegten Leberfältchen zusammensetzt. Die Gestalt dieser Leberfältchen entspricht sehr wohl der Beschreibung Savigny's: »plutôt lamelleux que grenus«; doch dürfte man hier unter »lamelleux« nicht an Lamellen denken, die die ganze Breite der Leber überqueren. Die Breite der Leberfältchen beträgt ungefähr 130 μ. Die Leberzotten (Textfig. 8 *c*, Seite 57) sind fingerförmig, basal nicht verengt, bei allen näher untersuchten Stücken (auch bei dem von Hemprich und Ehrenberg gesammelten, var. ?) ungefähr 130—160 μ lang und in der Mitte 30—33 μ dick. Der Mitteldarm ist gleichmäßig breit und geht ohne deutlichen Absatz in den Enddarm über, der bis unter die Egestionsöffnung reicht, also viel weiter nach vorn-oben als der Ösophagus. Der After ist weder verengt noch erweitert, abgeplattet und glatt.

Die Geschlechtsapparate (Taf. 1 Fig. 10) sind zwittrig. Sie bilden jederseits einen unregelmäßig umrandeten, mäßig dicken Belag in und hinter der Mitte der Körperseite. Der der linken Seite überdeckt fast die ganze Darmschleife, über die er nach allen Seiten noch etwas hinausragt. Er läßt fast nur die End-Äste des Darmes frei, den Magen mit der Leber und den Ösophagus, sowie das distale Ende des Mitteldarms und den Enddarm. Die Geschlechtsapparate bestehen aus einem unregelmäßigen Konglomerat von Hodenbläschen-Gruppen und mehr oder weniger lockeren Ovarien-Paketen. Die Hodenbläschen-Gruppen sind vorherrschend in den mittleren und basalen Teilen des ganzen Geschlechtsapparates, während die Randpartien lediglich von Ovarien-Paketen gebildet werden. Die Geschlechtsorgane sind sehr locker zusammengefügt und bröckeln leicht auseinander. Ausführapparate konnte ich nicht sicher nachweisen.

Erörterung. Sehen wir ab von der fraglichen Form aus dem Roten Meer (ohne nähere Fundangabe), so unterscheidet sich *M. pupa* von den sämtlichen übrigen Arten mit 7 Kiemensackfalten jederseits, soweit es sich beurteilen läßt, durch den Besitz von Papillen an den sekundären Quer- und Längsgefäßen; sind doch nur bei *M. miniaceus* Sluit. (l. c.) derartige Papillen, und zwar bei dieser Art an den primären inneren Längsgefäßen, erwähnt. Von *M. ternatanus* Hartmr.[1] unterscheidet sich *M. pupa* außerdem durch die Gestaltung der Geschlechtsorgane, von *M. sulcatus* und *M. senegalensis* außerdem ebenfalls durch die Gestaltung der Geschlechtsorgane, dann aber auch noch durch die Zahl der Längsgefäße auf den Kiemensackfalten u. a. (l. c.). *M. propinquus* Herdman[2] (Darm- und Geschlechtsorgane unerwähnt gelassen!) soll nur ungefähr 6 Längsgefäße auf einer Kiemensackfalte tragen und sehr breite, ungefähr 12 Kiemenspalten fassende Maschen aufweisen. *M. hartmeyeri* Oka[3] unterscheidet sich von *M. pupa* durch die auffallende Dicke seines Zellulosemantels, durch die größere Zahl der Längsgefäße in den Faltenzwischenräumen und besonders durch den gelappten Afterrand. Wie sich *M. anchylodeirus* Traust. (l. c.) verwandtschaftlich zu *M. pupa* verhält, läßt sich aus der sehr kurzen, lückenhaften Beschreibung nicht ersehen. *M. anchylodeirus* soll 12—14 Längsgefäße auf einer Kiemensackfalte tragen (*M. pupa* 9—12) und 6—7 Kiemenspalten in einer Kiemensackmasche aufweisen (*M. pupa* bis 6). Ich halte es nicht für ausgeschlossen, daß sich *M. anchylodeirus* als identisch mit *M. pupa* erweise.

Höchst wahrscheinlich ist Keller's »*Cynthia microcosmus?*« (l. c. 1883, p. 21), zwischen Suës und Port Tewfik gefunden, mit *Microcosmus pupa* identisch. Da sie Keller nicht spezifisch von jener

---

[1] Hartmeyer, Monascid. Ternate, p. 4, Taf. I Fig. 1 u. 8.

[2] Herdman, Rep. Tunic. Challenger I, Asc. simpl., p. 132, Taf. XIV Fig. 5, 6.

[3] Oka, Notiz. japan. Ascid. I, p. 49.

Mittelmeerform verschieden zu sein schien, so handelt es sich wohl um eine Art mit 7 Falten jederseits am Kiemensack, also mutmaßlich um *M. pupa* (Sav.).

Microcosmus exasperatus subsp. australis (Herdm.).

(Textfig. 9 *d* und *e*.)

1878 *Microcosmus affinis* + *M. distans* part. Heller, Beitr. Kenntn. Tunic., p. 98, Taf. I Fig. 6; p. 99, Taf. V Fig. 27.

1885 *Microcosmus variegatus* Traustedt, Ascid. simpl. Stillen Ozean, p. 42 (subsp. typica?).

1891 *Microcosmus affinis*, Herdman, Rev. Class. Tunic., p. 575.

1899 *Microcosmus australis* + *M. affinis* + *M. Ramsayi* Herdman, Cat. Tunic. Austral. Mus., p. 23, Taf. Cyn. V Fig. 1—6; Taf. Cyn. VI Fig. 6—8; p. 25, Taf. Cyn. VI Fig. 1—5.

? 1904 *Microcosmus affinis* + *M. Ramsayi* + ? *M. haemisphaerium* Sluiter, Tunic. Siboga-Exp. I Soc. holosom. Asc., p. 51; p. 52; p. 52, Taf. XI Fig. 12—14 (zu subsp. *typica*?).

1908 *Microcosmus exasperatus australis*, Michaelsen, Pyurid. (Halocynthiid.) Nat. Mus. Hamburg, p. 272, Taf. II Fig. 12, 13.

1909 *Microcosmus exasperatus australis*, Hartmeyer, Tunic., in: Bronn, Kl. Ordn. Tierr., p. 1845.

? 1913 *Microcosmus hirsutus* part. (non typus), Sluiter, Ascid. Aru-Ins., p. 70 (zu subsp. *typica*?).

Fundangabe: Gimsah-Bucht; R. Hartmeyer, Jän.—Febr. 1902 (1 Stück).

Weitere Verbreitung: N. S. Wales, Sidney (nach Herdman 1891 und Michaelsen 1908); Queensland, Rockhampton, Bowen (nach Michaelsen 1908); ? Malayischer Archipel, Kei-Ins., Ins. Jedan, Ins. Saleyer, Aru-Ins. (nach Sluiter); ? China-See, vor Amoj (nach Traustedt 1885).

Bemerkungen zu *M. exasperatus* (s. l.) (Textfig. 9*a*—*e*). Diese Art und ihre Teilung in zwei Unterarten, subsp. *typica* und subsp. *australis* (Herdm.), ist schon einmal eingehend von mir erörtert worden.[1] Ich habe meine damaligen Synonymie-Feststellungen in geringem Maße zu ändern, wie aus der obigen Zusammenstellung zu entnehmen ist. Ich ordne den *M. affinis* Heller jetzt ohne Anfügung eines Fragezeichens der subsp. *australis* zu und stelle zu *M. exasperatus* (s. l.) auch *M. haemisphaerium* Sluit.[2] von der Insel Saleyer, sowie Sluiter's *M. hirsutus* vom Malayischen Archipel,[3] nicht aber den Typus dieser letzteren Art von den Chatham-Inseln.[4] Sluiter vereint in seiner jüngeren Arbeit (l. c. 1913, p. 70) seinen *M. haemisphaerium* vom Malayischen Archipel mit seinem älteren *M. hirsutus* von den Chatham-Inseln. Das ist meiner Ansicht nach nicht angängig. Der Typus von *M. hirsutus* besitzt eine sehr lange, fast bis an das Vorderende des Körpers reichende, fast ganz (anscheinend in ganzer Länge) geschlossene und nur mäßig gebogene Darmschleife (l. c. 1904, p. 30, Taf. VI Fig. 3). Bei dem Typus von *M. haemisphaerium* dagegen beschreibt der Darm eine sehr stark gebogene Schleife, deren Wendepol nach hinten hin übergebogen ist, so daß eine tiefe, innen verengte Darmschleifenbucht oberhalb der Darmschleife entsteht (l. c. 1904, Taf. XI Fig. 13). Auch ist die Darmschleife bei *M. haemisphaerium* nicht eng geschlossen, sondern vor dem Wendepol weit klaffend, wie die zitierte Abbildung deutlich erkennen läßt. Sluiter sagt zwar, daß der Darm »eine enge Schlinge« mache; doch kann er damit kaum die eigentliche Darmschleife meinen. Das würde zu der Abbildung in Widerspruch stehen. Er meint damit sicherlich die zur Bildung der engen Darmschleifenbucht führende Krümmung der Darmschleife, spricht er doch auch bei der Erörterung der Gonaden von einer ersten (von mir als Darmschleifenbucht bezeichnet) und einer zweiten (von mir als Darmschleifenlumen bezeichnet) Darmschlinge. Schon die Angabe, daß ein Teil der linksseitigen Gonaden in der zweiten Darmschlinge liege, deutet darauf hin, daß hier von einem engen Zusammenschluß der Darmschleife nicht die Rede sein kann. Der Verlauf des Darmes bei

---

1 Michaelsen, 1908, Pyurid. (Halocynthiid.) Nat. Mus. Hamburg, p. 271 u. f.

2 Sluiter, 1904, Tunic. Siboga-Exp. I. holos. Asc., p. 52, Taf. XI Fig. 12—14.

3 Sluiter, 1913, Asc. Aru-Ins., p. 70.

4 Sluiter, 1900, Tunic. Stillen Ozean, p. 30, Taf. IV Fig. 5, Taf. VI Fig. 3.

M. haemisphaerium entspricht genau dem bei *M. exasperatus*. Auch die Gonaden von *M. haemisphaerium*, »drei hintereinander liegende Lappen«, entsprechen denen von *M. exasperatus*, während sich die des Originals von *M. hirsutus* »jederseits als eine sehr große, ovale, drüsige Masse« darstellen sollen (l. c. 1900, p. 30) und nach der Abbildung (l. c. 1900, Taf. V I Fig. 3) linkerseits ganz oberhalb der Darmschleife liegen, nicht wie bei *M. haemisphaerium* bezw. *M. exasperatus* mehrteilig und teils oberhalb der Darmschleife, teils im Lumen der Darmschleife. Ich löse demnach *M. haemisphaerium* wieder aus dem Verbande mit *M. hirsutus* und vereine ihn (*M. haemisphaerium*) mit *M. exasperatus*. Welcher Unterart, ob des subsp. *typica* oder der subsp. *australis*, er zugeordnet werden muß, bleibt fraglich.

Das vorliegende von der Gimsah-Bucht an der afrikanischen Küste der Djobalstraße stammende Stück zeigt auffallenderweise die für subsp. *australis* charakteristische Form der Innendorne an der Zellulosemantel-Auskleidung im Innern der Siphonen. Die übrigen von Ostafrika stammenden Stücke dieser Art müssen nach der Gestalt dieser Innendorne der typischen Unterart zugeordnet werden, und zwar sowohl die neuerdings von mir an der Delagoa-Bay gesammelten, wie das früher bearbeitete Stück von Deutsch-Ostafrika, wenngleich dieses letztere steilenweise in der Gestalt der Innendorne eine Hinneigung zu subsp. *australis* zeigt (Michaelsen, l. c. 1908, p. 275). Übrigens scheint meine Abbildung von einem Innendorn der subsp. *typica* (l. c. 1908, Taf. II Fig. 11) nicht ganz korrekt zu sein. Wenigstens sind die neuerdings untersuchten Innendorne am frei aufragenden Ende sämtlich etwas spitzer zugeschnitten, nicht gerundet, und auch an den alten Präparaten kann ich derartig gerundete Innendorne nicht wieder auffinden. Allerdings sind diese Präparate in Kanadabalsam konserviert, und die feinen membranartigen Teile der Innendorne so durchsichtig geworden, daß sie kaum erkannt werden können.

Der Kiemensack trägt bei allen neuerdings untersuchten Stücken (1 Stück der subsp. *australis* von Gimsah-Bucht und 2 Stücke der subsp. *typica* von Lourenço Marques) jederseits 9 Falten, von denen aber nur je 7 wohl ausgebildet sind: Subsp. *australis* rechts 9 (VIII $^1/_2$, IX $^1/_6$), links 9 (VIII $^2/_5$, IX ca. $^1/_8$), subsp. *typica* rechts 9 (VIII $^8/_9$, IX $^1/_6$), links 9 (VIII $^1/_3$, IX $^1/$[illegible]). *M. exasperatus* besitzt auch mehr oder weniger deutlich ausgebildete Papillen am Kiemensack, und zwar scheinen diese bei subsp. *australis* meist deutlicher ausgeprägt und zahlreicher zu sein als bei subsp. *typica*, ohne daß sich ein Unterscheidungsmerkmal für die Unterarten daraus gewinnen ließe; zeigt doch ein zweifellos zu subsp. *typica* gehöriges Stück von Jamaica recht wohl ausgebildete Papillen und ein Stück der subsp. *australis* von Bowen in Queensland nur spärliche, nicht besonders deutlich ausgeprägte. Viel mag die Art der Konservierung zur Erkennbarkeit der Papillen beitragen. Besonders gut ausgebildet erscheinen die Papillen an dem Stück der subsp. *australis* von Gimsah-Bay. Sie sitzen als unregelmäßig warzenförmige Hervorragungen an den feinsten sekundären Längsgefäßen und an den Quergefäßen an der dem Innenkörper zugewendeten Außenseite des Kiemensackes, besonders große auch an den Quergefäßen dort, wo sie die inneren Längsgefäße kreuzen. Auch an den Seitenrändern des Endostyls stehen große, zum Teil kegelförmige oder stummelförmige Papillen. Vielfach zeigen auch die feinsten parastigmatischen Quergefäße knotige Anschwellungen, die fast wie Papillen aussehen können. Diese knotigen Anschwellungen scheinen aber keine echten Papillen zu sein, sondern nur dem Ansatz der nach den sekundären Längsgefäßen hingehenden Quergefäßträger zu dienen.

In gewissem Grade variabel scheint bei *M. exasperatus* die Struktur der Leber zu sein, hauptsächlich in der Ausbildung der Leberzotten (Textfig. 9*a*—*e*), allerdings nicht sowohl in der Form derselben, wie in den Größenverhältnissen, zumal in der Länge. Die Leberfältchen sind ziemlich gleicherweise 90—150 μ breit. Die Leberzotten sind durchweg stummel- bis fingerförmig, basal nicht oder nicht deutlich verengt, in der Dicke wenig verschieden, sehr verschieden aber in der Länge. Selbst

die Leberzotten eines und desselben Stückes, ja die eines und desselben Leberfältchens können verschieden lang sein. Die längsten, aber zugleich auch die in der Länge am stärksten variierenden Leberzotten fand ich bei einem näher untersuchten Stück der subsp. *typica* von Jamaica (Textfig. 9 *a*), bei dem sie bei etwa 48 μ Dicke eine Länge von 100—190 μ aufwiesen. Ähnlich längliche Leberzotten wiesen die Stücke der subsp. *typica* von der Delagoa-Bay auf (Textfig. 9 *b*), nämlich Zotten von etwa 40 μ Dicke und etwa 130—170 μ Länge. Bei einem Stück der subsp. *typica* von Formosa erwiesen sie sich bei einer Dicke von etwa 45 μ als 100—200 μ lang. Die Stücke der subsp. *australis* besitzen anscheinend durchweg kürzere und plumpere Leberzotten. Bei den australischen — je ein Stück von Sidney, Bowen und Rockhampton (Textfig. 9 *d*) näher untersucht — waren sie ziemlich gleichmäßig, ungefähr 100—120 μ lang bei einer Dicke von etwa 40 μ. Die Leberzotten des Stückes der subsp. *australis* von der Djobal-Straße (Textfig. 9 *e*) waren dagegen, wenn auch von ähnlicher Form, viel kleiner, nur etwa 60 μ lang und 36 μ dick; zugleich waren sie manchmal basal ein geringes verengt. Besonders auffallend ist die Gestaltung der Leberzotten bei dem Stück der subsp. *typica* von Deutsch-Ostafrika (Textfig. 9 *c*). Bei diesem erwiesen sie sich als ungefähr 85 μ lang bei einer Dicke von etwa 45 μ, also viel plumper als bei den übrigen Stücken der subsp. *australis*. Erinnern wir uns daran, daß dieses Stück von Daressalaam auch in der Gestaltung der Innendorne eine, wenn auch schwache Hinneigung zur subsp. *australis* zeigt, so gewinnt diese Form den Charakter eines Mittelgliedes, das auch das sonst anscheinend isolierte Auftreten der subsp. *australis* an anderer Stelle der afrikanischen Ostküste, im Roten Meer, erklärlicher erscheinen läßt.

Textfig. 9.

a *b* *c* *d* *e*

Leberzotten verschiedener Stücke von *Microcosmus exasperatus* Heller, im Profil; schematisch; $\frac{75}{1}$.

a) f. *typica* von Jamaica, *b*) f. *typica* von Lourenzo Marques, *c*) f. *typica* von Daressalaam. *d*) var. *australis* (Herdm.) von Rockhampton, *e*) var. *australis* von Gimsah-Bucht im Roten Meer.

Fam. Styelidae.

In der Familie *Styelidae*, sowie in der nahe verwandten Familie *Botryllidae*, spielt die Gestaltung des Magens eine bedeutsame Rolle bei der Charakterisierung der Arten. Ich halte es für angebracht, eine genaue Bezeichnung für die verschiedenen Elemente, aus denen der Magen zusammengesetzt ist, zu vereinbaren. Der Magen der Styeliden und Botrylliden zeigt in der Regel eine mehr oder weniger genau in der Längsrichtung verlaufende Faltung der Wandung. Diese Faltung ist meist auch äußerlich durch das Auftreten von äußeren Längswülsten, die durch äußere Längsfurchen mehr oder weniger scharf voneinander gesondert sind, markiert. Jeder äußeren Längsfurche entspricht eine in das Lumen des Magens hineinragende innere Längsfalte. Diese (inneren) Längsfalten alternieren also mit den (äußeren) Längswülsten. Betrachtet man an einem Querschnitt durch den Magen die Strahlen der (äußeren) Längswülste als radiär, so würden die (inneren) Längsfalten als interradiär zu bezeichnen sein. Der unter einem (äußeren) Längswulst zwischen zwei (inneren) Längsfalten gelegene Raum ist als Wulsthöhlung zu bezeichnen. Die Firstpartie der (äußeren) Längswülste, also der Wandungsstreifen zwischen zwei (inneren) Längsfalten am Grunde einer Wulsthöhlung, ist mehr oder weniger deutlich von den benachbarten Teilen des Magenepithels, den Flanken der (inneren) Längsfalten, abgesetzt; er besteht aus mehr oder weniger deutlich vergrößerten bezw. verlängerten Drüsenzellen und mag Drüsenlängsstreifen genannt werden. Vielfach treten diese Drüsenlängs-

streifen kantenförmig oder gar schmal-saumförmig in die Wulsthöhlung ein, sind auch wohl äußerlich als Längsfurchen an der First der Längswülste markiert. Sie machen dann den Eindruck kleinerer (innerer) Zwischenfalten, die mit den eigentlichen (inneren) Längsfalten abwechseln, sowie ihre äußerliche Furche als Zwischenfurche in die Erscheinung tritt. Bei stärkerer Ausprägung können diese Zwischenfalten bezw. Zwischenfurchen das Bild des Magenbaues verwirren, zumal bei Betrachtung des aufgehellten Magens in durchfallendem Licht, bei der die Längswülste dann halbiert bezw. verdoppelt erscheinen. Sie mögen dann Irrtümer bei der Feststellung der Zahl der Längswülste verursachen. Auch die als Faltenkanten zu bezeichnenden Kantenteile der (inneren) Längsfalten sind mehr oder weniger deutlich von den benachbarten Teilen des Magenepithels, den Faltenflanken, abgesetzt und durch besondere Struktur (Flimmerepithel) charakterisiert. Da all diese Magenteile bei den in Rede stehenden Familien ausnahmslos mehr oder weniger genau in der Längsrichtung verlaufen, so bedarf es hier nicht durchaus des stetigen Hinweises auf die Längserstreckung, es genügen die einfachen Bezeichnungen als (äußere) Magenwülste bezw. Wülste, (äußere) Magenfurchen bezw. Furchen, (innere) Magenfalten bezw. Falten und Drüsenstreifen. Die Magenwülste bezw. Magenfalten bilden keinen gleichmäßig geschlossenen Kreis am Umfange des Magens, sondern zeigen in einer Längslinie eine Strukturunterbrechung; das ist die sogenannte Magennaht. Die Magennaht stellt sich meist als Längsfurche dar, der auch eine (innere) Längsfalte, die Nahtfalte, entspricht Diese Nahtfalte weicht aber in ihrer Struktur von den eigentlichen Magenfalten ab, zeigt z. B. manchmal an der Innenkante eine tiefe Längsfurche, so daß ihr Querschnitt Y-förmig aussieht. Sie mag vielleicht auch bei Erweiterung des Magens ausgeglättet werden. Ihre rechtsseitige Flanke (rechtsseitig bei Betrachtung des Magenquerschnittes von der Cardia her) ist meist als äußerer Längswulst, als Nahtwulst, ausgebildet. Aus diesem Nahtwulst entspringt vielfach ein mehr oder weniger frei vorragender Blindsack, der Pylorus-Blindsack, so besonders zu bezeichnen im Gegensatz zu den häufig auftretenden blindsackartigen cardialen Enden der Wulsträume, den Cardia-Blindsäcken. Vielfach ist der Nahtwulst äußerlich nicht gut von den eigentlichen Magenwülsten zu unterscheiden. Zweifellos ist er bei der Angabe der Zahl der Magenwülste meist mitgezählt worden.

Gen. Styela Flem.

Styela canopus Sav.

1816 *Styela canopus* Savigny, Mém. Anim. s., vertèbr., II[1], p. 45, 154, Taf. VIII Fig. 1.
1891 *Styela canopus*, Herdman, Rev. Class. Tunic., p. 581.
1898 *Styela canopus* part. (f. *typica*), Michaelsen, Vorl. Mtt. Tunic. Magalh. Süd-Georg., p. 267.
1900 *Styela canopus* part. (f. *typica*), Michaelsen, Holos. Ascid. magalh.-südgeorg. Geb., p. 73.
1915 *Tethyum canopus*, Hartmeyer, Üb. Ascid. Golf v. Suez, p. 397.

Fundangaben: Rás el Millan; R. Hartmeyer, 18.—20. Jän. 1902 (mehrere Stücke).
Gimsah-Bucht; R. Hartmeyer, 11.—17. Jän. 1902 (viele Stücke).
Port Bernice; Pola-Exp., 24. Nov. 1895 (mehrere Stücke).

Ältere Fundangaben: Rotes Meer (nach Savigny); Golf von Suës, Suës (nach Hartmeyer).

Bemerkungen: Die nach den Savigny'schen Beschreibungen (l. c. 1816) und der Hartmeyerschen Ergänzung (l. c. 1915) sehr gut bekannte Art scheint nach dem vorliegenden Material eine der häufigsten Arten im Golf von Suës zu sein. Ich habe nach Untersuchung dieses Materials noch einige Bemerkungen zu machen.

St. canopus ist mit dicht und unregelmäßig gestellten Innendornen an der Zellulosemantel-Innenauskleidung der Siphonen ausgestattet. Diese Innendorne sind winzig, etwa 20 μ lang und 10 μ breit, einfach erkerförmig (bis sehr kurz- und schief-röhrenförmig?).

Der Magen besitzt 18—20 Längswülste (»une vingtaine« nach Savigny), von denen einer als Nahtwulst anzusehen ist. Ein frei abragender Pylorus-Blindsack ist, wie schon Hartmeyer (l. c. 1915, p. 398) angab, nicht vorhanden, wohl aber ein rudimentärer Pylorus-Blindsack. Derselbe tritt äußerlich als schwache blasige Auftreibung in die Erscheinung und enthält einen birnförmigen Hohlraum, der durch einen feinen Kanal zur Höhlung des Nahtwulstes hinführt. Der abgebogene rektale End-Ast scheint bei meinen Stücken nicht ganz so lang zu sein wie in der Savigny'schen Abbildung (l. c. 1816, Taf. VIII Fig. I). Er überragt den Wendepol der Darmschleife nur wenig.

Gen. Cnemidocarpa Huntsm.

1912 *Cnemidocarpa* Huntsman, Ascid. Coasts Canada, p. 132.

1913 *Cnemidocarpa*, Huntsman, Class. Styelid, p. 500.

Ich stimme mit Hartmeyer[1] in der Ansicht überein, daß die bei der Aufteilung der alten, weit gefaßten Gattung *Styela* von Huntsman geschaffenen Gattungen *Katatropa, Goniocarpa* und *Botryorchis* nicht haltbar sind und zunächst im Verbande mit *Styela* verbleiben müssen. Ich folge Hartmeyer auch darin, daß ich die Huntsman'sche Gattung *Cnemidocarpa* einstweilen annehme, wenn ich auch nicht davon überzeugt bin, daß sie eine gut umschriebene Artgruppe darstellt. Es ist mir vor allem fraglich, ob sich *Cnemidocarpa,* die allerdings von *Styela* gut zu sondern ist, auch gegen die Gattung *Polycarpa* scharf abgrenzen läßt. Als trennendes Merkmal steht uns nur die Gestalt der zwittrigen Geschlechtsorgane zur Verfügung. *Cnemidocarpa* soll die Merkmale haben: »Gonads few to many, elongated, placed in a single row on each side. Ducts opening near atrial siphon«, *Polycarpa* (*Pandocia*) die Merkmale: »Gonads numerous, short, scattered (not in a single row). The Ducts open toward the atrial aperture.« Das ist, wie schon allein die Betrachtung der *Cnemidocarpa hemprichi* Hartmr. (siehe unten!) zeigt, eine in einzelnen Fällen schwer festzustellende Abgrenzung. Bei *Cn. hemprichi* schwankt die Zahl der Geschlechtssäckchen einer Körperseite von 6 bis über 40; die Geschlechtssäckchen sind manchmal sämtlich lang, manchmal zum Teil, ja zum überwiegenden Teil verkürzt, bis kurz-oval; sie sind manchmal mehr oder weniger deutlich in einer Strahlenreihe angeordnet, manchmal mehr oder weniger unregelmäßig gestellt bis zerstreut (bei einem Stück an der einen Seite fast ganz unregelmäßig gestellt, an der anderen Seite in deutlichem Strahlenkranze angeordnet — siehe unten, Seite 82, Textfig. 12), und auch die Entfernung ihrer distalen Enden von der Egestionsöffnung ist bei verschiedenen Stücken verschieden, manchmal im allgemeinen gering, manchmal bei einem Teil der Geschlechtssäckchen sehr groß. Ein Teil der Stücke von *Cn. hemprichi,* so das Hartmeyer'sche Originalstück, läßt keinen Zweifel an der *Cnemidocarpa*-Natur, während andere Stücke mehr *Polycarpa*-artig aussehen. Ich kann nach diesem die Sonderung von *Cnemidocarpa* und *Polycarpa,* wie sie in der Tabelle von Huntsman (l. c. 1913, p. 500) gegeben ist, nicht als endgültig ansehen.

Cnemidocarpa margaritifera n. sp.

(Taf. I Fig. 17 u. 18, Textfig. 10.)

Fundangabe: Umm el Kyaman (Umm el Jerman); R. Hartmeyer, 18.—20. Jän. 1902 (1 Stück)

Diagnose. Kleines (17 *mm* langes) festsitzendes Tier. Äußere Siphonen nicht deutlich.

Körperoberfläche fast nackt, kreidig weiß, mit breiten, unregelmäßig gebogenen Wülsten und Polstern, dazu kuppelförmige bis kugelige Auswüchse von trüb-glasigem Aussehen.

Ingestionsöffnung kreuzförmig, Egestionsöffnung ein Querspalt mit medianen Einkerbungen, vor der Mitte der Rückenlinie.

Zellulosemantel ziemlich weich-knorpelig, biegsam, zäh.

Innendorne winzig, elliptische Hohlkuppeln mit kurzem, schrägem Dorn, ca. 30 µ lang und 14 µ hoch.

Kiemensack mit 4 Falten jederseits, die von oben nach unten etwas an Breite abnehmen.

---

[1] Hartmeyer, Neue und alte Styelid. Berlin. Mus., p. 207.

Dorsalfalte ein breiter glatter Saum, dessen Kante in eine regelmäßige Reihe dreiseitiger, an der Spitze tentakelartig ausgezogener Zähne zerschlitzt ist.

Darm eine hinten weit offene, sonst eng geschlossene, stark gebogene Schleife bildend, die kaum bis zur Körpermitte nach vorn reicht. Magen mit ca. 14 äußerlich scharf ausgeprägten Längswülsten, ohne deutlichen Pylorus-Blindsack. Afterrand in ca. 8 Lappen gespalten.

Jederseits ca. 6 unregelmäßig geschlängelte, dünn-strangförmige zwittrige Geschlechtsorgane, die mit verschmälerter Basis in ganzer Länge fest an den Innenkörper angeheftet sind und ziemlich regelmäßig strahlig gegen die Egestionsöffnung hin verlaufen.

Beschreibung: Körpergestalt (Taf. I Fig. 17): Der eigentliche Körper stellt ein seitlich stark abgeplattetes, etwas unregelmäßiges Ellipsoid dar, dessen längste Achse annähernd der Rückenlinie parallel liegt und etwa um die Hälfte länger ist als die in der Mediane senkrecht dazu stehende Achse, während sie etwa dreimal so lang wie die Seitenachse ist. Das Hinterende zieht sich in ein sehr kurzes engeres Ansatzstück aus, das seiner Kürze wegen kaum als Stiel bezeichnet werden kann. Die Gestalt wird durch die kaum ausgeprägten äußeren Siphonen nicht merklich beeinflußt.

Bodenständigkeit: Das Tier war mit der Grundfläche des dorsalwärts fast bis zur Unkenntlichkeit verkürzten Ansatzstückes und vielleicht noch mit einem kleinen Teil der sich daran schließenden Ventralseite an Korallenbruchstücken angewachsen.

Größenverhältnisse: Das ganze Tier einschließlich des Ansatzstückes ist parallel der Rückenlinie ungefähr 17 *mm* lang, wovon etwa 15 *mm* auf den eigentlichen Körper entfallen. Die senkrecht dazu stehenden Achsen sind in der Mitte des eigentlichen Körpers etwa 10 *mm* (dorsalventral) und 5 *mm* (seitlich) lang.

Die Körperoberfläche ist sehr uneben, ähnlich wie bei *Styela plicata* Les., ganz von einigen breiten, mehr oder minder langen, unregelmäßig gekrümmten Wülsten und unregelmäßig umrandeten Polstern eingenommen. Die Breite der Wülste beträgt im Maximum etwa 2 *mm*. Dazu kommen noch einige stummelförmige, kuppelförmige oder basal verengte, ei- und knopfförmige, fast kugelige Auswüchse, die durch ihr glasiges Aussehen stark von der kreidigen Grundmasse abstechen, auf den Wülsten und Polstern. Die Dicke dieser Auswüchse beträgt durchschnittlich etwas über 1 *mm*; einige kleinere finden sich im Bereich der Körperöffnungen. Im feineren ist die Körperoberfläche an den Auswüchsen glatt, an den Wülsten und Polstern zart duff, an den Körperöffnungen körnelig rauh. Die Körperoberfläche ist fast ganz nackt und rein.

Die Färbung ist im allgemeinen kreidig weiß, an den Auswüchsen gelblich grau, glasig, an den Körperöffnungen gelblich bis bräunlich grau.

Die Körperöffnungen liegen auf der Kuppe schwacher Erhabenheiten, die kaum Anspruch auf die Bezeichnung »äußere Siphonen« machen können; am ehesten träfe diese Bezeichnung noch für die Erhabenheit der Egestionsöffnung zu. Die Ingestionsöffnung liegt am Vorderende ein wenig nach ventral-links verschoben. Sie bildet ein regelmäßiges Kreuz, dessen Längsachse ein wenig länger als seine Querachse ist, und dessen Winkelräume von rauhen Wülsten eingenommen sind. Die Egestionsöffnung liegt vor der Mitte der Rückenlinie, etwa $^1/_6$ des seitlichen Umrisses des eigentlichen Körpers von der Ingestionsöffnung entfernt, ein geringes nach links verschoben. Sie ist ein breiter Querspalt, dessen dickwulstige Lippen in der Mitte je eine scharfe Einkerbung aufweisen, die Andeutung eines Kreuzschnittes.

Der Zellulosemantel ist ziemlich dick, zumal am massigen Ansatzstück am Hinterende des Körpers. Er ist ziemlich weich knorpelig, biegsam aber zäh, im Schnitt und an der Innenfläche schneeweiß. Die Zellulosemantel-Auswüchse sind fast durchsichtig, etwas trüb glasig. Sie weichen auch in der histologischen Struktur stark von der übrigen Zellulosemantelmasse ab. Die Grundmasse des kreidig weißen Zellulosemantels weist ein dichtes Gewirr feiner aber scharf ausgeprägter Fasern auf, und diese sind es zweifellos, die das kreidig weiße Aussehen verursachen. Nach außen liegt über dieser Grundmasse eine dünne, mehr homogene Schicht, in der sich zahlreiche kleine ovale bis

kugelige, durchschnittlich etwa 10 μ dicke Blasenzellen mit winzigem, in Pikrokarmim stark gefärbtem Kern an der Innenseite der Zellmembran finden. Diese Schicht wird zuäußerst durch eine dünne, festere, homogene, stark färbbare Rindenschicht überdeckt. Die Grundmasse der Auswüchse entspricht der Blasenzellenschicht des übrigen Zellulosemantels, doch sind die Blasenzellen in der Innenmasse spärlich und weit zerstreut. Gegen die auch hier deutlich ausgeprägte Rindenschicht werden sie zahlreicher, und dicht unter derselben liegen sie ziemlich dicht gedrängt. In jedem näher untersuchten Zellulosemantel-Auswuchs fand ich einen oder einige wenige eigenartig gestaltete Gebilde, dicke, eng und unregelmäßig geschlängelte, anscheinend hüllenlose Schläuche, die mit einem verengten Halsteil die Rindenschicht durchbrechen und nach außen ausmünden. Diese Schläuche stellen ein Konglomerat von annähernd kugeligen Zellen dar, die von feinen Membranen umhüllt und vielfach mit einem winzigen, anscheinend wandständigen Kern ausgestattet sind. Sie ähneln den Blasenzellen des Zellulosemantels. In den inneren Teilen des Gebildes sind diese Zellen mehr oder minder zerfallen und in ein spongiöses Gerinsel aufgelöst. Nach außen ist das Gebilde nicht glatt abgeschlossen, sondern die äußeren Zellen ragen mehr oder weniger vor. Diese Gebilde sind durchschnittlich etwa $^1/_2$ *mm* lang, 0·1 *mm* breit und 0·07 *mm* dick. Es erscheint mir fraglich, ob diese Gebilde als Konglomerate von zerfallenden und auszuscheidenden Blasenzellen anzusehen seien, oder ob man es hier mit einem parasitischen Fremdkörper zu tun habe. Nach der ersteren Anschauung könnte man an eine besondere Funktion dieser dann als Organe zu bezeichnenden Gebilde denken, etwa an die Funktion der Absonderung gewisser Stoffe, die einen Aufwuchs von Fremdorganismen verhindern sollen. Nach der anderen Anschauung könnte man die Zellulosemantel-Auswüchse vielleicht als Gallen betrachten, als Wucherungen der Zellulosemantelmasse, hervorgerufen durch den Parasiten. Ich meinerseits halte die erstere Anschauung, nach der es sich hier um Konglomerate von Blasenzellen handelt, für die zu bevorzugende.

Die Zellulosemantel-Innenauskleidung des Ingestionssiphos (und mutmaßlich auch des nicht näher untersuchten Egestionssiphos) trägt dicht gedrängte, unregelmäßig gestellte Innendorne (Taf. I Fig. 18), kuppelförmige Hohlkörper von elliptischem Umriß in der Grundlinie, die an der Kuppe in einen kleinen, kurzen, nach vorn geneigten Dorn auslaufen. Sowohl im Profil wie in der Aufsicht sieht man, daß die Spitze des Dornes die Vorderkante der Grundlinie nicht nur nicht überragt, sondern daß sie noch beträchtlich hinter ihr zurückbleibt. Die Innendorne messen ungefähr 25 μ in der basalen Länge, und die Spitze des Dornes liegt ungefähr 14 μ hoch über der Grundfläche.

Der Weichkörper haftet überall ziemlich fest am Zellulosemantel und entspricht in seiner Gestalt im allgemeinen annähernd der des eigentlichen Körpers; doch mögen die inneren Siphonen etwas deutlicher ausgeprägt sein als die äußeren.

Der Innenkörper ist mäßig dünn, seine Muskulatur im allgemeinen zart, nur an den inneren Siphonen etwas kräftiger. Der Innenkörper trägt zahlreiche mäßig große und kleine Endocarpe (Textfig. 10), die unregelmäßig zerstreut und im Vorderteil des Körpers weitläufiger gestellt sind, aber nur den verhältnismäßig kleinen vom Darm eingenommenen Teil ganz freilassen.

Siphonalpapillen sind anscheinend nicht vorhanden, wenigstens an je einem zur Beobachtung gelangten, ziemlich umfangreichen Teil der Innenwand der beiden Siphonen nicht auffindbar gewesen. Die Basis des Egestionssiphos ist von einem deutlichen, vorn median anscheinend unterbrochenen, fast krausenartig verschrumpften Atrialvelum umgeben, und an diesem Velum stehen in einfachem Kranze zahlreiche schlank-fadenförmige Atrialtentakel von etwa 250 μ Länge und in der Mitte etwa 15 μ Dicke.

Der Mundtentakelkranz besteht aus etwa 25, wenn nicht mehr, sehr verschieden großen unregelmäßig angeordneten Tentakeln. Selbst die großen Mundtentakel sind verhältnismäßig noch klein.

Das Flimmerorgan ist ein kleines dickes, ovales Polster mit eng geschlossenem Flimmergrubenspalt; der eine ovale, links etwas vor der Mitte offene Linie beschreibt. Die beiden Hörner des Ovals stoßen fast aneinander und sind nicht ein- und nicht ausgebogen.

Der Kiemensack ist symmetrisch gebaut und dorsal nur wenig kürzer als ventral. Er trägt jederseits 4 wohl ausgebildete, überhängende Falten, die im allgemeinen von oben nach unten etwas an Breite abnehmen. Die Längsgefäße an den Falten verteilen sich fast gleichmäßig auf die Ober- und Unterseite der Falten. An einem Querschnitt ungefähr durch die Mitte des Kiemensackes stellte ich folgende Anordnung der Längsgefäße an und zwischen den Falten fest.

rechts: *D* 2 (9 + 10 = 19) 5 (11 + 9 = 20) 3 (9 + 10 = 19) 5 (7 + 5 = 12) *E*.
links: *D* 3 (11 + 9 = 20) 4 (8 + 9 = 17) 5 (7 + 7 = 14) 2 ? (?) ? + 1 *E*.

Die Quergefäße sind ziemlich regelmäßig nach dem Schema 1 (*s*) 3 (*s*) 2 (*s*) 3 (*s*) 1 geordnet. Parastigmatische Quergefäße (*s*) sind in den meisten Maschen vorhanden, nur wenigen Maschen fehlen sie. Die Quergefäße 1. Ordnung sind ziemlich dick, unter sich nicht ganz gleich, jedenfalls aber viel dicker als die 2. und 3. Ordnung, die nur wenig voneinander verschieden sind. Echte Papillen scheinen am Kiemensack nicht vorzukommen, wenigstens nicht an dessen Innenseite und nicht an den feinsten Längsgefäßen. Manchmal treten aber Pseudopapillen auf, Rudimente der Träger von vorzeitig endenden parastigmatischen Quergefäßen in der Mitte der feinsten Längsgefäße. Die Kiemenspalten sind lang gestreckt, parallelrandig. Es finden sich bis 7 Kiemenspalten in den breitesten Maschen der Faltenzwischenräume. Der Schlund liegt weit hinten, dicht vor dem Hinterende des Kiemensackes.

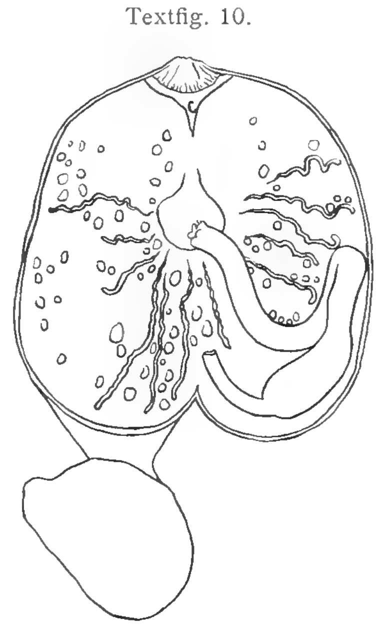
Die Dorsalfalte ist ein langer, breiter Saum, dessen aufragende freie Kante in eine eng geschlossene Reihe im allgemeinen gleichschenkelig dreiseitiger Züngelchen zerschlitzt ist. Während die Breite der Dorsalfalte bis zur Basis der Züngelchen etwa 0·7 *mm* beträgt, sind die Züngelchen durchschnittlich etwa 0·12 *mm* lang. Die Züngelchen sind im allgemeinen flächenhaft, wie die Dorsalfalte überhaupt, doch sind sie an der manchmal ein geringes verbogenen Spitze drehrund. Die Züngelchen sind im allgemeinen etwa doppelt so lang wie an der Basis breit, im hinteren Teil der Dorsalfalte aber viel schlanker und an der Spitze in einen feinen, tentakelartigen Faden ausgezogen. Die Flanken der Dorsalfalte sind meiner Ansicht nach ursprünglich glatt und ungerippt. Einige anscheinend schräg nach oben verlaufende Rippen halte ich für postmortale Schrumpfungen. Keinesfalls stehen diese fraglichen Rippen zu den Züngelchen der Kante in Beziehung, deren stets mehrere in einem Raum zwischen zwei fraglichen Rippen stehen.

Der Darm (Textfig. 10) liegt an der linken Seite des Kiemensackes fast ganz auf die hintere Hälfte des Körpers beschränkt; nur der Enddarm ragt soweit nach vorn, daß er eben in die vordere Körperhälfte hineinreicht, während die Darmschleife kaum bis zur Mitte des eigentlichen Körpers nach vorn geht. Der Darm bildet eine stark verkrümmte Schleife, die an ihrem Öffnungs-Teil sehr weit klafft, in ihrem Wendepolteil dagegen eng geschlossen ist. Der Ösophagus, der Magen und das letzte Viertel des Mitteldarmes bilden den verlaufenden Darmschleifen-Ast. Ösophagus und Magen stellen zusammen einen fast halbkreisförmigen, nach vorn offenen Bogen dar; das erste Viertel des Mitteldarms liegt annähernd in der geraden Verlängerung des Magenendes, eher etwas auswärts gebogen. Der rücklaufende Darmschleifen-Ast legt sich zunächst eng an die Außenseite des vorlaufenden Darmschleifen-Astes an, geht also aus dessen Krümmungsebene heraus. Vom Pylorusende des Magens an weicht er, sich in weitem Bogen erst nach oben, dann nach vorn-oben krümmend, weit vom vorlaufenden Darmschleifen-Ast ab. Das Ende des rücklaufenden Darmschleifen-Astes, der Enddarm, ist wieder etwas mehr aufwärts gebogen. Der After liegt entsprechend diesem Verlaufe der Darmschleife weit entfernt vom Schlund, etwas von der Mitte des Körpers in der hinteren Partie des Kloakalraumes. Der Ösophagus ist mäßig lang und eng, einfach gebogen. Der Magen ist besonders vom Ösophagus deutlich abgesetzt, am dicksten etwa am Ende des ersten Drittels, etwas geschweift, im ganzen schräg nach vorn-unten verlaufend. Er besitzt 14 auch äußerlich scharf ausgeprägte Längswülste, die mit Ausnahme zweier neben der Magennaht gelegener von einem Ende bis zum anderen Ende des Magens reichen. Ein Pylorus-Blindsack ist nicht vorhanden, ebensowenig ein das Pylorus-Ende

des Magens mit dem gegenüberliegenden Teil des Mitteldarmes verbindendes Pylorus-Band. Ein vom Pylorus-Ende des Magens abgehendes Band setzt sich dagegen andrerseits an den Innenkörper an. Der Mitteldarm ist deutlich enger als der Magen. Der Enddarm ist durch einen feinen Bindegewebssaum locker am Innenkörper, nicht am Kiemensack, befestigt. Der After ist abgeplattet, und sein Rand etwas auswärts gebogen. Der Afterrand ist in 8 sehr verschieden breite und zum Teil verhältnismäßig lange, apikal gerundete Läppchen zerschlitzt. Zum Teil sind diese Läppchen apikal etwas breiter als basal.

Geschlechtsorgane (Textfig. 10): Das vorliegende Stück besitzt jederseits 6 Geschlechtsapparate, die als lange, schmale, unregelmäßig und verschieden eng geschlängelte Bänder strahlenförmig ziemlich genau in der Richtung nach dem Zentrum der Egestionsöffnung hin verlaufen. Sie durchmessen zum Teil fast die ganze Breite der Körperseite und enden distal mehr oder weniger nahe, zum Teil dicht an dem Atrialvelum. Diese Geschlechtsapparate lassen ungefähr das vordere Drittel der Körperseiten frei und sind ziemlich gleichmäßig über die beiden hinteren Drittel verteilt. Selbst der Darm bewirkt linkerseits kaum eine Unterbrechung, sondern nur eine Verkürzung der beiden hintersten Geschlechtsapparate, deren letzter wie der der Gegenseite nahe und fast parallel der dorsalen Medianlinie verläuft, während der vorletzte im distalen Teil vom Enddarm überdeckt wird. Die Geschlechtsapparate sind in ganzer Länge durch ihre verschmälerte Basalpartie an den Innenkörper angeheftet, nicht in den Innenkörper eingebettet. Leider ist das Tier nicht vollständig geschlechtsreif. Es war noch keine Spur von Hodenbläschen erkennbar, so daß ich nicht angeben kann, in wie enger Verbindung die männlichen Gonaden mit dem weiblichen Teil des Geschlechtsapparates stehen. Zweifellos aber sind die einzelnen Geschlechtsapparate zwittrig, denn ich habe neben den deutlich ausgebildeten weiblichen Gonaden und Ausfuhrgängen ein Kanalsystem nachweisen können, das nur als Ausführapparat für männliche Geschlechtsprodukte gedeutet werden kann. Jeder Geschlechtsapparat ist ein dicker Strang, der durch eine undeutlich abgesetzte verschmälerte Basalpartie am Innenkörper haftet. Die Achsenpartie des Stranges wird durch einen mäßig weiten Kanal gebildet, der mit einem ziemlich dicken und anscheinend mit einem Besatz von Flimmerwimpern ausgestatteten Epithel ausgekleidet ist. Dicht an dieser Zentralkanalauskleidung liegt in der inneren, dem Peribranchialraum zugekehrten Masse des Stranges ein dichter Belag von weiblichen Gonaden. Die größten Eizellen in diesem Belag, dem Ovarium, haben einen Durchmesser von nur etwa 30 μ, sind also mutmaßlich noch ziemlich weit vom Reifestadium entfernt. Aus dem Achsenkanal, dem Ovarialschlauch, entspringen anscheinend paarweise enge Seitenkanäle, die sich in den Seitenpartien des Stranges nach der First des Stranges hinziehen und hier zu einem unpaarigen, dicht unter der Außenwand verlaufenden Eileiter vereinen, der deutlich weiter ist als die zuführenden Kanäle, aber viel enger als der achsiale Ovarialschlauch. Neben dem Eileiter verläuft in der Firstpartie des Geschlechtsapparates noch ein etwas engerer Kanal, den ich aber nicht überall nachweisen konnte (stellenweise kollabiert?), und dessen Kontinuität demnach nicht sichergestellt ist. Er ist von einer sehr zarten Haut ausgekleidet und empfängt anscheinend paarweise ebenso gestaltete aber dünnere Zuführungskanäle, die in den Seitenpartien des Geschlechtsstranges aus dessen basaler Partie, wenn nicht aus der darunterliegenden Masse des Innenkörpers, herkommen. Wir haben es hier zweifellos mit den Ausführwegen der männlichen Geschlechtsprodukte zu tun; wo aber diese Geschlechtsprodukte liegen, ließ sich nicht feststellen. Ich konnte die feinen, anscheinend paarigen Kanäle bis etwa an die Grenze zwischen Innenkörper und aufragendem Geschlechtsstrang verfolgen. Ich vermute, daß die männlichen Gonaden sich in der von den Ovarien freigelassenen

Textfig. 10.



Cnemidocarpa margaritifera n. sp., durch einen ventralen Medianschnitt geöffnet und auseinandergeklappt, Kiemensack abpräpariert; schematisch; 3/1.

und noch ziemlich viel Raum bietenden basalen Partie des Geschlechtsstranges entwickeln, wie es für die Gattung *Cnemidocarpa* charakteristisch ist.

Bemerkungen: Diese zierliche Art, die in ihrem Habitus an *Styela plicata* Les. erinnert, ist vor allem durch die Gestalt der Dorsalfalte charakterisiert. Eine im allgemeinen saumförmige, am freien Rande in eine Reihe von Züngelchen zerschlitzte Dorsalfalte kommt meines Wissens nur bei *Styela bythia* Herdm. und *St. flava* Herdm.[1] vor, beides Formen des tieferen Wassers, aus 2600, bezw. 600 Faden Tiefe. *Cnemidocarpa margaritifera* unterscheidet sich von diesen beiden Arten schon durch die Struktur der Körperoberfläche. Übrigens sind die Beschreibungen von den beiden Herdman'schen Arten so lückenhaft, daß ein eingehender Vergleich unmöglich ist. Leider sagt Herdman auch nichts über die Geschlechtsorgane seiner Arten, so daß selbst die Zugehörigkeit derselben zur Gattung *Styela* nicht nachgeprüft werden kann. Vielleicht haben wir es bei jenen Arten mit Angehörigen der Gattung *Cnemidocarpa* zu tun. Beachtenswert erscheint mir die Angabe, daß bei *Styela flava* die Darmschleife »rather wide« ist (l. c., p. 162. — Vom Darm der *St. bythia* ist nichts erwähnt). Die Weite der Darmschleife bei *St. flava* erinnert an *Cnemidocarpa margaritifera*, bei der nur die Wendepolpartie der im übrigen weit offenen Darmschleife eng geschlossen ist.

Cnemidocarpa hartmeyeri n. sp.

(Textfigur 11.)

Fundangabe: Gimsah-Bucht; R. Hartmeyer, 11.—17. Jän. 1902 (1 Stück).

Diagnose. Körper klein, angewachsen. Ingestionssipho undeutlich; Egestionssipho ca. 1/3 Körperlänge dahinter, dick, warzenförmig.

Körperoberfläche nackt, uneben, netzförmig gefurcht, mit polsterförmig erhabenen Maschen, im Umkreis der Körperöffnungen mit rauhen, knotigen Auswüchsen.

Zellulosemantel mäßig dick, weich lederartig, sehr zäh, fast undurchsichtig.

Innendorne basal ca. 20 μ lang, oval-kuppelförmig, mit kurzem, dünnem, schräg nach vorn-oben ragendem Dorn.

Innenfläche des Ingestionssiphos dicht innerhalb der Öffnung mit Ringwall.

Kiemensack mit 4 Falten jederseits, Falte IV sehr klein, I—III groß.

Dorsalfalte ein glatter, glattrandiger Saum.

Darm auf die hintere Hälfte des Weichkörpers beschränkt, eine sehr kurze, weit klaffende, offene Schleife bildend. Magen ziemlich lang, mit zirka 16 äußerlich nur durch Längsstreifung markierten Falten, mit buckelförmigem Pylorus-Blindsack.

Geschlechtsapparat: Jederseits eine geringe Zahl (3?) teils einfache, teils einmal oder mehrmals (bis 3 mal?) gegabelte, sehr lange und dünne, in ganzer Länge mit verschmälerter Basis an den Innenkörper angeheftete zwittrige Gonadenstränge. Hodenbläschen einseitig in der Basalpartie.

Beschreibung. Körpergestalt und Bodenständigkeit: Der Körper des einzigen Stückes ist seitlich abgeplattet sackförmig, mit dem hinteren Teil der Ventralseite und einem sich daran anschließenden Teil der rechten Seite angewachsen. Von der Anwachsfläche erhob er sich frei nach vorn-oben hin. Der nicht scharf abgesetzte, sehr kurze äußere Ingestionssipho bildet das schräg nach vorn-oben gewendete Vorderende; der dick-warzenförmige, die ganze Breite der Rückenseite einnehmende äußere Egestionssipho liegt eine kurze, etwa dem dritten Teil der Rückenlinie gleichkommende Strecke hinter dem Ingestionssipho an der etwas gewölbten Rückenlinie. Man könnte die Gestaltung auch so schildern, als ob die beiden Siphonen, durch eine seichte Einsattelung voneinander getrennt, an der ziemlich schmalen, dorsal etwas zurückweichenden Vorderkante des in der Seitenansicht etwas schiefwinkelig länglich vierseitigen Körpers lägen.

Dimensionen: Die größte Körperachse, annähernd parallel der Rückenlinie (der Dorsalfalte) verlaufend, mißt 25 *mm*, die dorsoventrale Achse hinten etwa 15 *mm*, vorn etwa 12 *mm*; die Breite beträgt nur etwa 6 *mm*.

Die Körperoberfläche ist sehr uneben, ziemlich regelmäßig netzförmig gefurcht, mit polsterförmiger Erhabenheit der Netzmaschen. In der hinteren Partie sind die Maschenpolster stellenweise

[1] Herdman, Rep. Tunic. Challenger I. Simpl. Ascid., p. 151, Taf. XVIII Fig. 8, bezw. p. 161, Taf. XX Fig. 5.

nur sehr wenig erhaben und unregelmäßig gestreckt. Im Umkreis der Körperöffnungen, an den Flanken der Siphonen und zum Teil neben der Basis der Siphonen, sind die Maschenpolster kleiner und stärker erhaben, knotenförmig, rauh, bezw. mit kornelig rauhen Auswüchsen von fast blumenkohlartigem Aussehen besetzt. Die Körperoberfläche ist nackt und anscheinend ganz rein, ohne Fremdkörperbesatz.

Die Körperöffnungen, auf der Kuppe der äußeren Siphonen gelegen, sind deutlich vierstrahlig, umstellt von vier oberflächlich zart warzigen Lappen, die durch ziemlich tiefe, sich am Sipho hinabziehende Längsfurchen voneinander gesondert sind.

Die Färbung ist im allgemeinen hellgelblichgrau, an den Maschenpolstern fast weißlich, in den Netzfurchen etwas dunkler, fast bräunlich.

Der Zellulosemantel ist mäßig und ziemlich gleichmäßig dick, weich lederartig, aber sehr zäh und schwer zerreißbar, nur bei intensiver Durchstrahlung sehr schwach durchscheinend, bei gewöhnlicher Durchstrahlung undurchsichtig, im Schnitt hellgelblichweiß.

Innendorne sind sowohl am Ingestionssipho wie am Egestionssipho vorhanden. Sie stehen ziemlich dicht, in unregelmäßiger Anordnung, und sind oval kuppelförmig, mit kurzem, dünnem, etwas schräg nach oben bezw. oben-vorn ragendem Dorn auf der Kuppe. Die Länge ihrer Basalfläche beträgt durchschnittlich etwa 20 µ, die Höhe der Dornspitze über der Basalfläche etwa 10—13 µ. Solche Dorne sitzen nicht nur an der Innenauskleidung der Siphonen, sondern auch in der äußeren Umgebung der Körperöffnungen an den rauhen Zellulosemantel-Auswüchsen. Diese den Innendornen gleichenden Dorne sind als Mündungsdorne zu bezeichnen. Die Region der Innendorne geht andrerseits nicht sehr weit in das Innere der Siphonen hinein, am Ingestionssipho nur bis eben über einen scharf ausgeprägten Wall, der ziemlich dicht innerhalb der Öffnung die Wandung in gleichmäßigem, ununterbrochenem Ringe umkreist.

Der Weichkörper haftet bei dem vorliegenden Stück überall sehr fest am Zellulosemantel. Die inneren Siphonen sind mutmaßlich gut ausgeprägt, aber kurz, kegelförmig.

Die Innenfläche des Ingestionsiphos ist eben unterhalb der Öffnung mit einem schmalen, weißlichen Ringwall ausgestattet, der, wie oben schon angegeben, noch in der Region der Innendorne liegt. Innerhalb dieses Ringwalles zeigt die Innenfläche eine unregelmäßig rechteckige, netzartige Furchung mit etwas erhabenen Maschenräumen. Fadenförmige Siphonalpapillen konnte ich hier nicht auffinden.

Die Innenfläche des Egestionssiphos ist mit mehr rundlichen, sehr niedrig polsterförmigen Erhabenheiten besetzt und besitzt feine fadenförmige Siphonalpapillen von etwa 0·12 *mm* Länge und 10 µ Dicke.

Ein schmales, weißliches, ziemlich scharf ausgeprägtes Atrialvelum begrenzt die Innenfläche des Egestionssiphos. An diesem Velum steht ein ziemlich dichter, nicht ganz einfacher Kranz schlank fadenförmiger Kloakaltentakel. Die längsten Kloakaltentakel sind etwa 0·6 *mm* lang, bei einer Dicke von 35 µ, gegen das freie Ende etwas verjüngt und mit mehr oder weniger deutlich kopfartig angeschwollener Spitze. An den minder großen Kloakaltentakeln ist die Anschwellung des freien Endes nicht deutlich ausgeprägt. Die Kloakaltentakel sind dünnwandige Schläuche, in deren Achsenlumen ein dünner Strank anscheinend frei entlang läuft. In dem bei größeren Kloakaltentakeln meist deutlich angeschwollenem oder aufgeblähtem freien Ende glaube ich ein unregelmäßig gerundetes Körperchen erkannt zu haben, in dem der Achsenstrang sein Ende findet. Die ganzen Organe machen mir den Eindruck von Sinnesorganen, bei dem der Achsenstrang als Nerv aufzufassen wäre. Für einen Muskelstrang möchte ich ihn nicht halten, da die Organe durchaus nicht den Anschein besonderer Kontraktilität haben. Die Konservierung des Materials, die feinere histologische Untersuchungen nicht in Rücksicht nahm, gestattete keine weitere Klarstellung der histologischen Natur dieser Organe.

Der Mundtentakelkranz besteht aus etwa 30 (Zählung sehr unsicher, stellenweise nach Schätzung!) auffallend kleinen fadenförmigen Tentakeln. Größere Tentakel sind nicht gefunden worden;

doch ist zu bemerken, daß der Tentakelkranz stellenweise zerstört war. Jedenfalls folgen in gewissen Strecken mehrere (3) dieser an Größe nur sehr wenig verschiedenen winzigen Tentakel lückenlos aufeinander.

Das Flimmerorgan ist ein ovales, fast kreisrundes Polster, etwas länger als breit. Der Flimmergrubenspalt scheint einen geschlossenen Kreis zu bilden, der vorn median aber eine starke Klaffung aufweist. Der hier weit zurückspringende Innenrand des Flimmergrubenspaltes bleibt infolgedessen nicht kreisförmig, wie der Außenrand, sondern nimmt eine herzförmige Linie ein. Übrigens war diese Gestaltung nicht ganz sicher festzustellen. Bei gewisser Beleuchtung erschien es mir, als ob der Flimmergrubenspalt doppelt sei und einen nach vorn offenen hufeisenförmigen Spalt, der von einem Kreisspalt umschlossen sei, darstelle.

Der Innenkörper ist dünn, mit zarter Muskulatur versehen und im Bereich des Peribranchialraumes ziemlich dicht mit verhältnismäßig kleinen, kurz- und enggestielt sackförmigen Endocarpen besetzt.

Der Kiemensack ist ziemlich lang gestreckt, dorsal nicht sehr viel kürzer als ventral, da die Schlundöffnung ziemlich weit hinten, wenngleich noch eine kleine Strecke vor dem Hinterende, liegt. Bei normaler Ausbildung ist der Kiemensack dieser Art mutmaßlich nur wenig asymmetrisch. Bei dem vorliegenden Stück ist er jedoch linksseitig offenbar abnorm gebildet. Während er rechtsseitig 4 normal ausgebildete Falten trägt, finden sich linksseitig in den vorderen zwei Dritteln des Kiemensackes nur 3 Falten, und im hinteren Drittel schiebt sich eine rudimentäre vierte Falte zwischen Falte I und die Falte III (vorn anscheinend Falte II) ein. Die dem Endostyl jederseits zunächst liegende Falte IV ist viel schmäler als die übrigen und trägt nur 5 bezw. 7 Längsgefäße, während die übrigen, abgesehen von der abnormen Falte II linkerseits, 10 oder 11 Längsgefäße aufweisen. Auf den Faltenzwischenräumen verlaufen, abgesehen von jener abnormen Stelle, 6—11 Längsgefäße. Querschnitte durch Mitte und Hinterteil des Kiemensackes zeigen folgendes Schema der Anordnung:

rechts in der Mitte: *D* 9 (10) 11 (11) 8 (10) 6 (7) 6 *E*.
links in der Mitte: *D* 8 (11) 8 (11) 9 (5) 6 *E*.
links hinten: *D* 7 (10) 3 (5) 5 (11) 9 (5) 6 *E*.

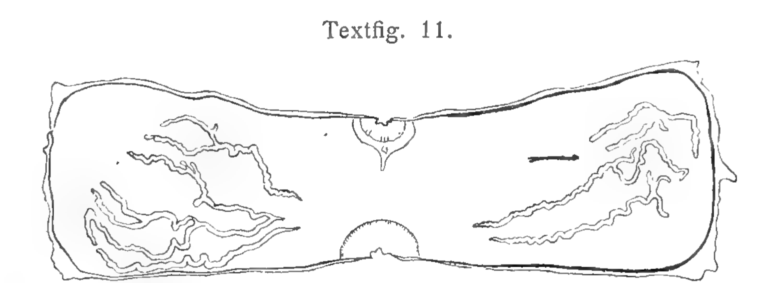
Die Quergefäße sind sehr unregelmäßig nach dem Schema 1, 3, 3, 3, 2, 3, 3, 3, 1, verschieden dick. Stellenweise treten noch parastigmatische feinste Quergefäße hinzu. Die Maschen sind durchweg weniger breit als lang. Die breitesten Maschen der Faltenzwischenräume enthalten höchstens 4 Kiemenspalten. Die Kiemenspalten sind parallelrandig, mäßig lang.

Die Retropharyngealrinne ist ziemlich lang. Die Längsgefäße der rechten Seite gehen bis an die Retropharyngealrinne, während die der linken Seite eben vorher enden. Die Dorsalfalte ist ein ziemlich langer, glatter, ungerippter und ganz glattrandiger zarter Saum.

Der Darm war bei dem vorliegenden Stück leider zerrissen, sodaß über seinen Verlauf keine sichere Feststellung gemacht werden kann. Er war offenbar auf die hintere Hälfte des Weichkörpers beschränkt und bildete anscheinend eine nur sehr kurze, weit klaffende offene Schleife mit sehr langem rektalen End-Ast, im ganzen eine S-förmige Figur beschreibend, deren distaler Teil aber in einer anderen Ebene lag als der proximale Teil. Der Ösophagus ist dünn, kantig, annähernd halbkreisförmig gebogen. Der Magen ist ziemlich groß, vom Ösophagus sehr scharf, vom Mitteldarm mäßig scharf abgesetzt, etwas gebogen, in der cardialen Hälfte verdickt. Er weist im Innern außer einer breiten Nahtfalte 15 ziemlich regelmäßige Längsfalten auf, die auch äußerlich als Längsstreifung, nicht als Längswülste, sichtbar sind. Am Pylorus-Ende trägt der Magen einen blasigen, kuppelförmigen Pylorus-Blindsack. Der Mitteldarm ist wenig dünner als der Pylorus-Teil des Magens und läßt auch äußerlich eine Leitrinne als hellen Längsstreifen erkennen. Über den Enddarm und die Gestaltung des Afterrandes kann ich nichts aussagen.

Der Geschlechtsapparat (Textfig. 11) besteht jederseits aus einer geringen Anzahl von meist einmal oder mehrmals (bis 3 mal) gegabelten Gonadensträngen. Es fanden sich rechts deren 3, links deren 2 vollständige und die Reste von 2 halb zerstörten Gabel-Ästen (mutmaßlich ebenfalls

Textfig. 11.



Cnemidocarpa hartmeyeri n. sp., durch einen ventralen Medianschnitt geöffnet und auseinandergeklappt, Kiemensack, Darm und Endocarpe abpräpariert; schematisch; 3/2.

im ganzen 3, vielleicht 4, von denen dann aber 2 als einfach, nicht gegabelt, angesehen werden müßten). Ich zählte rechts 11, links 7 proximale Gabel-Ast-Enden, einschließlich der proximalen Enden einfacher Gonadenstränge, deren mindestens einer vorhanden ist. Die Gonadenstränge sind ungemein lang. Ich schätze die Länge des größten, gestreckt gedacht, auf etwa 30 *mm*. Dabei sind sie verhältnismäßig dünn, nur ungefähr 0·4 *mm* dick. Sie sind in ganzer Länge mit verschmälerter Basis an den Innenkörper angelegt, aber ziemlich leicht loszulösen. Ihr distales Ende ist zipfelförmig verjüngt und zeigt auf die Egestionsöffnung hin, von der es aber noch ziemlich weit entfernt bleibt. Von hier aus erstrecken sich die Gonadenstränge unter unregelmäßigen engen Schlängelungen und weiten Biegungen nach unten. Die Gabelungen treten sehr verschieden weit vom distalen Ausmündungsende entfernt auf, zum Teil ziemlich dicht unterhalb des proximalen Endes, zum Teil vor oder hinter der Mitte. Die proximalen Gabel-Ast-Enden sind zum Teil wieder nach oben zurückgebogen. Die Gonadenstränge sind zwittrig. Ihre Achse ist hohl, von einem mäßig weiten, etwas abgeplatteten Kanal, dem Eileiter, eingenommen, der sie als dickwandige Schläuche erscheinen läßt. Im basalen Teil der Schlauchwandung liegt eine einfache, regelmäßige, fast geschlossene Reihe von verhältnismäßig großen, etwa 200 μ langen und 170 μ dicken, ziemlich regelmäßig eiförmigen Hodenbläschen. Die nach oben gewendeten schmäleren Pole der Hodenbläschen gehen unter scharfem Absatz in schlanke, etwa 16 μ dicke Sonderausführgänge, vasa efferentia, über. Diese Sonderausführgänge ziehen sich in der dicken Schlauchwandung schräg nach vorn und oben hin, den Achsenkanal oder Eileiter umfassend, und vereinen sich oberhalb desselben zu einem parallel dem Eileiter in der dicken Schlauchwandung verlaufenden, etwa 45 μ dicken Samenleiter. Die Sonderausführgänge scheinen den Eileiter nur einseitig zu umfassen, wenigstens war dies bei einer von mir genauer untersuchten Zahl (4) hintereinanderliegender Hodenbläschen der Fall. Die Hodenbläschen bilden hiernach eine nicht nur anscheinend, sondern auch tatsächlich einzeilige Reihe, wie es für Huntsman's Gattung *Paratona*[1] charakteristisch sein soll. Ob an anderer Stelle die Vasa efferentia den Eileiter vielleicht auch anderseitig umfassen, also ob die anscheinend einfache Reihe der Hodenbläschen als tatsächlich zweizeilig aufzufassen sei, muß ich dahingestellt sein lassen. Ich halte derartige Unterschiede nicht für bedeutend genug, um eine Gattungssonderung darauf zu gründen, wie es Huntsman durch die Sonderung der Gattungen *Cnemidocarpa, Pandocia* und *Paratona* (l. c. p. 500 u. 501) tut. Die Ovarien bilden, innerhalb der dicken Schlauchwandung den Hodenbläschen gegenüber an die zarte Auskleidung des Eileiters angeschmiegt, eine zusammenhängende Schicht, doch scheint das Auftreten einer Reihe von knotigen Verdickungen in dieser Schicht darauf hinzudeuten, daß auch die Ovarien aus einer Anzahl ursprünglich gesonderter Anlagen entstanden sind. Die Ovarien schienen noch unreif zu sein. Die größten Ovarialzellen erwiesen sich als nur etwa 23 μ dick.

[1] Huntsman, The Classif. Styelidae, p. 501.

Bemerkungen. *Cnemidocarpa hartmeyeri* scheint der *Cn. margaritifera* n. sp. (siehe oben, p. 67) nahe zu stehen. Sie unterscheidet sich von dieser hauptsächlich durch die glattrandige Dorsalfalte und die Gabelung der Gonadenstränge; auch fehlen ihr die für *Cn. margaritifera* charakteristischen glasigen Zellulosemantel-Auswüchse.

Cnemidocarpa hemprichi Hartmr.

(Tafel I Fig. 1—9, Textfig. 12—14.)

1916 *Cnemidocarpa hemprichi* Hartmeyer, Neue und alte Styelid. Berlin. Mus., p. 218, Textfig. 6 u. 7.

Fundangaben: Su'ës, im Flachwasser am Strande; E. Bannwarth (9 Stücke). Gimsah-Bucht; R. Hartmeyer, 17.—22. Januar 1902 (2 Stücke). Umm el Kyaman (Umm el Jerman); R. Hartmeyer, 18.—20. Januar 1902 (7 zum Teil sehr junge Stücke). Rotes Meer, ohne nähere Angabe; E. Ehrenberg (viele Stücke, darunter das Originalstück).

Diagnose. Körper in der Richtung der Rückenlinie länger als breit und dick, angewachsen; Maximaldimension 80 *mm*. Körperoberfläche uneben, stark gerunzelt, mit polster- und knotenförmigen Verdickungen.

Körperöffnungen etwas weniger als die halbe größte Körperdimension voneinander entfernt, schwarz-spritzig pigmentiert.

Zellulosemantel zäh, fest, undurchsichtig, Innendorne fehlen.

Flimmergrubenspalt klaffend, V-förmig, mit median verschmolzenen inneren Kanten der Hörner und von einem kontraktilen Häutchen eingefaßt und mehr oder weniger weit überspannt.

Kiemensack jederseits mit 4 mäßig hohen Falten.

Schlundöffnung weit nach hinten gerückt, an der ventralen Ecke der Hinterkante. Endostyl mit einem großen, schneckenförmig eingerollten hinteren Blindsack. Dorsalfalte lang gestreckt, mäßig breit, glatt und glattrandig.

Darm auf die hintere Hälfte des Weichkörpers beschränkt, eine in ganzer Länge etwas klaffende, offene, fast gerade nach vorn oder schräg nach unten-vorn gehende Schleife mit nach oben-vorn abgebogenen End-Ästen bildend. Magen den größeren Teil des vorlaufenden Darmschleifen-Astes bildend, spindelförmig, mit ungefähr 19 inneren, äußerlich nur undeutlich markierten Längsfalten und einem kleinen, mehr oder weniger freien Pylorus-Blindsack. Afterrand in eine Anzahl sehr kurzer Läppchen zerschlitzt.

Geschlechtsorgane jederseits 9—40 oder mehr, rechts einige mehr als links, in ganzer Länge fest mit dem Innenkörper verwachsen, breit wallförmig, kurz oder lang, teils geradlinig, teils unregelmäßig geschlängelt oder verbogen, manchmal zu zweien oder mehreren miteinander verwachsen oder gegabelt. Hoden basal-achsial, Ovarium apikal-lateral. Ausführung distal, kurz und dünn-zipfelförmig.

Cnemidocarpa hemprichi ist eine in mancher Hinsicht ungemein variable Art, ein Schulbeispiel für die Unzulänglichkeit einzelner Stücke bei der Feststellung von Art-Diagnosen. Die ersten drei Stücke, die ich näher untersuchte, machten den Eindruck einer so bedeutenden Habitus- und Organisationsverschiedenheit, daß ich sie als besondere Arten hinstellen wollte und bereits die schönsten Artnamen für sie suchte, und dabei stellte keines dieser Stücke ein Extrem in der Variation des hauptsächlich in Betracht kommenden variierenden Organes, des Geschlechtsapparates, dar. Hinzu kam, abgesehen von Verschiedenheiten des Habitus und geringfügiger Organisationsverhältnisse, bei diesen drei Stücken eine hochgradige Verschiedenheit im Aussehen des Flimmerorganes. Die Untersuchung weiterer Stücke ergab, daß die Verschiedenheiten in der Bildung des Geschlechtsapparates und in anderen, minder bedeutsameren Organisationsverhältnissen durch Zwischenstufen verbunden werden und als Variabilität anzusprechen sind, ferner, daß die anscheinend sehr bedeutsame Verschiedenheit in der Gestaltung des Flimmerorganes lediglich auf verschiedenartiger Kontraktion eines ungemein kontraktilen Organes beruht. Es blieb nicht einmal die Möglichkeit, die hauptsächlichsten Formenverschiedenheiten als Varietäten zu sondern. Da die Hartmeyer'sche Beschreibung, auf einem einzigen Stück beruhend, kein genügendes Bild von der Mannigfaltigkeit der Organisation dieser Art gibt, so lasse ich eine eingehendere Beschreibung nach meinem reichen Material folgen. Es wird sich dabei ergeben, daß die hauptsächlichsten konstanten Artcharaktere in ganz anderen Bildungen zu sehen sind, als bei Betrachtung eines einzelnen Stückes vermutet werden konnte.

Beschreibung. Körpergestalt und Bodenständigkeit: Der Körper (Taf. I Fig. 1, 2 u. 3*a*) ist mehr oder weniger länglich, in der Richtung der Rückenlinie (der Dorsalfalte) gestreckt, häufig verzerrt oder unter Verdickung des Zellulosemantels und in der Anpassung an die Anwachskörper und Winkelräume unregelmäßig gestaltet, meist sitzend, manchmal auch hinten in einen kompakten stielartigen Teil ausgezogen (Fig. 1). Der Ingestionssipho ist meist undeutlich oder überhaupt nicht ausgeprägt. Er liegt dorsal dicht hinter dem Vorderende, wenn er nicht das Vorderende selbst bildet. Der Egestionssipho ist meist etwas deutlicher ausgebildet, kurz- und breit-kegelförmig, etwas vor der Mitte der Rückenlinie gelegen. Manchmal ist auch ein Egestionssipho nicht deutlich ausgebildet. Die Tiere sind mit einem mehr oder weniger großen Teil der ventralen Kante und der linken Seite an festen Körpern angewachsen, meist mehr mit den hinteren Teilen ihres Körpers, aber selbst, wenn sie hinten in eine stielartige kompakte Verlängerung auslaufen, nicht lediglich mit dem Hinterende des Stieles, sondern auch mit einer Kante des Stieles und wenigstens noch dazu mit einem kleinen Teile des eigentlichen Körpers. Eigentlich gestielte Tiere, auf freiem, nur am distalen Ende festgehefteten Stiel frei aufragend, sind mir nicht zu Gesicht gekommen.

Dimensionen: Das größte mir vorliegende Stück hat eine größte Körperachse, parallel der Rückenlinie, von etwa 80 *mm*; seine Breite beträgt ungefähr 35 *mm*, während die Dorsoventralachse zirka 30 *mm* mißt. Es sind die verschiedensten Größen von diesem Maximum bis zu winzigen unreifen Tieren vertreten. Kleine Tiere von 25 *mm* Länge zeigten schon vollkommen ausgebildete Geschlechtsorgane.

Die Körperoberfläche ist sehr uneben, mehr oder minder stark gerunzelt, mit polster- und knotenförmigen Verdickungen, die sich bei vielen Stücken zu rauhen, mehr oder weniger kantigen Wülsten vereinen, während es bei anderen Stücken, zumal solchen mit dünnerem Zellulosemantel, bei einer mehr ebenen, aber rauh gekörnelten Körperoberfläche bleibt. Nach Hartmeyer soll das Originalstück an der Ansatzstelle mit Haftzotten versehen sein. Es handelt sich hier jedoch nicht um echte Zotten. Es sind kurz-fadenförmige Anhänge, die in eigentümlich regelmäßiger Weise angeordnet sind, nämlich je bis zu 6 in engen, ziemlich regelmäßig sternförmigen Gruppen, die ziemlich gleichmäßig über die ganze hohlkehlartige Anwachsfläche verteilt sind. Schon Hartmeyer schloß aus der Form der Anwachsfläche auf einen Korallen-Ast als Untergrundmaterial. Aus der regelmäßigen Anordnung der anscheinenden Haftzottengruppen schloß ich weiter, daß sie den Kelchen des mutmaßlichen Korallen-Astes entsprechen mögen, und daß die ganze Anwachsfläche der Ascidie gleichsam einen Abguß des Korallen-Astes mit seinen gefächerten Kelchen entspräche. Eine Probe erwies die Richtigkeit meiner Vermutung. Ein Stück der Ehrenberg-Kollektion, das an einem *Stylophora*-Ast saß, zeigte nach Ablösung von jenem Untergrunde genau die gleiche Anordnung der Pseudohaftfäden, deren Sechsergruppen genau in die sechsfächerigen Kelche der Koralle hineinpaßten. Vielfache Abweichungen von der Sechszahl der Fäden, die aber stets eine Minderzahl aufwiesen, erklären sich leicht daraus, daß einzelne der 6 Fächer der Kelche verstopft waren, so daß das Eindringen der Zellulosemantelmasse verhindert war. Die Körperoberfläche ist bei vielen Stücken wie bei dem Original ganz nackt und rein, bei anderen Stücken mehr oder weniger mit Fremdkörpern und Schlamm besetzt, manchmal fast in ganzer Ausdehnung.

Die Färbung der nackten Oberflächenteile ist hellgelb bis bräunlichgelb, die der bewachsenen Stücke durch den Aufwuchs beeinflußt. Einige ganz mit dünner Schlammschicht besetzte Stücke erscheinen ziemlich dunkel grau.

Die Körperöffnungen sind vierlappig, von 4 kreuzförmig gestellten länglichen, feinwarzigen Wülsten markiert. Bei Stücken, an denen äußere Siphonen nicht ausgeprägt sind, lassen sich die Körperöffnungen äußerlich kaum auffinden, da die manchmal sehr unscheinbaren Lappenwülste in der knotigen und körneligen Umgebung schwer oder kaum erkennbar sind (Taf. I Fig. 3 *a*).

Der Zellulosemantel zeigt eine sehr stark variierende Dicke. Bei einigen Stücken ist er, abgesehen von etwaigen kompakten, stielartigen Verlängerungen, ziemlich dünn, biegsam, wenn auch sehr zäh, so besonders bei einigen Stücken von Suës. Bei anderen Stücken ist er dicker, bis sehr dick, zugleich nicht nur sehr zäh, sondern auch fest und ziemlich wenig biegsam, fast wie Sohlleder (die verschiedene Biegsamkeit ist wohl nur eine Folge der verschiedenen Dicke). Im Schnitt ist der Zellulosemantel etwas unrein weißlich bis schwach gelblich, an der Innenfläche hell mit schwachem Perlmutterglanz.

Innendorne an der Zellulosemantel-Innenauskleidung der Siphonen sind nicht vorhanden.

Der Weichkörper (Taf. I Fig. 3*b*), der sich mehr oder weniger leicht vom Zellulosemantel ablösen läßt, ist sehr regelmäßig und symmetrisch gebaut, auch bei Stücken von sehr unregelmäßiger äußerer Form. Besonders auffallend ist dies bei einem breit ovalen, ziemlich dicken Stück von Umm el Kyaman (Taf. I Fig. 3*a*), bei dem die Gestalt des in dem sehr dicken, stellenweise verhältnismäßig ungemein dicken Zellulosemantel liegenden kleinen Weichkörpers (Fig. 3*b*) gar nicht der äußeren Form entspricht. Der Weichkörper ist in der Richtung der Rückenlinie (der Dorsalfalte) sehr langgestreckt, schmal, fast drehrund oder dorsal etwas eingesenkt, hinten und vorn mäßig breit gerundet oder (selten) hinten abgerundet-kegelförmig verjüngt (bei dem oben erwähnten Stück von Umm el Kyaman). Die inneren Siphonen sind am Weichkörper fast stets deutlich ausgeprägt, auch bei dem Fehlen von äußeren Siphonen. Sie sind jedoch nur kurz, breit-kegelförmig oder breit-warzenförmig. Sie liegen in der Rückenmittellinie, der nicht immer ganz deutlich ausgeprägte innere Ingestionssipho dicht hinter dem Vorderende, der stets deutlich ausgeprägte innere Egestionssipho dicht hinter der Rückenmitte. Der Weichkörper ist undurchsichtig, im allgemeinen gelblich oder bräunlichgrau. An den Siphonenlappen findet sich stets eine aus scharf umschriebenen länglichen und unregelmäßig rundlichen, spritzigen Flecken bestehende schwarze Pigmentierung.

Der Innenkörper ist verhältnismäßig dick, muskulös. Die Muskeln bilden eine geschlossene Schicht.

Die Innenflächen der Siphonen sind mit gedrängt stehenden Erhabenheiten besetzt. Die Erhabenheiten der Innenwand des Ingestionssiphos sind ziemlich unregelmäßig gestaltet, abgestutzt-prismatisch bis zylindrisch mit abgerundeter Endkante oder etwas breiter und dann polsterförmig, meist deutlich durch 4 den Siphonallappen entsprechende Längsfurchen in 4 Längsfelder eingeordnet. Die Erhabenheiten der Innenwand des Egestionssiphos sind regelmäßiger gestaltet, abgerundet- und manchmal etwas geschweift-kegelförmig, manchmal in der Basalpartie miteinander verwachsen, so daß mehrgipflige Gebilde entstehen. Sowohl die Erhabenheiten des Ingestionssiphos wie die des Egestionssiphos tragen bei allen näher untersuchten Stücken, also offenbar konstant, schlank fadenförmige Siphonalpapillen. Die Siphonalpapillen des Ingestionssiphos sind etwas kleiner als die des Egestionssiphos, nämlich etwa 0·12—0·16 *mm* lang und 11—14 μ dick, während die bei verschiedenen Individuen verschieden großen, also deutlicher variierenden Siphonalpapillen des Egestionssiphos etwa 0·2—0·3 *mm* lang und 14—22 μ dick sind. Die Siphonalpapillen des Egestionssiphos stehen regelmäßig verteilt, je eine auf der gerundeten Spitze der kegelförmigen Erhabenheiten, bei mehrgipfligen (basal verschmolzenen) Erhabenheiten auf jedem Gipfel eine. Bei der unregelmäßigen Gestaltung der Erhabenheiten an der Innenfläche des Ingestionssiphos und dem Fehlen von ausgesprochenen Gipfeln bei denselben sind auch die Siphonalpapillen hier unregelmäßiger angeordnet. Sie stehen zum Teil an der distalen Kante der prismatischen oder zylindrischen Erhabenheiten, zum Teil etwas unterhalb dieser Kante an der Seitenwand der Erhabenheiten. Bei einigen Stücken konnte ein nicht ganz vollständiges kloakales Velum mit plumpen, dick-fadenförmigen Kloakaltentakeln nachgewiesen werden, wie Hartmeyer es bei dem Originalstück fand. Bei anderen Stücken konnte ich keine Spur dieser Organe auffinden; doch möchte ich daraus nicht schließen, daß sie diesen Stücken fehlten. Das Velum mag bei gewissen Kontraktionszuständen ausgeglättet, und die Kloakaltentakel flach an

die Innenwand angelegt und angeklebt, daher unauffindbar sein. Es wäre vielleicht auch damit zu rechnen, daß die Kloakaltentakel abgescheuert oder von Parasiten abgenagt sein könnten; doch will mir das nicht recht einleuchten, da die viel zarteren Siphonalpapillen stets sicher nachweisbar, gut erhalten waren.

Es sind zahlreiche Endocarpe (Taf. I Fig. 9) im allgemeinen ziemlich gleichmäßig über die freien Teile des Innenkörpers im ganzen Bereich des Peribranchialraumes zerstreut, vielfach eng eingeklemmt zwischen 2 benachbarte Gonadensäckchen oder aus einer trichterförmigen Einsenkung eines an der betreffenden Stelle verbreiterten Gonadensäckchens herausragend. Die Endocarpe sind im allgemeinen dünn gestielt, birnförmig bis sackförmig. Ihre Stielpartie ist ungemein fest und zäh, derbwandig; ihr verbreiterter freier Teil ist dagegen zartwandig. Im Lumen der Darmschleife steht enger zusammengedrängt eine Gruppe schlankerer, längerer Darmschleifen-Endocarpe, die auch zu mehreren basal verschmolzen sein und somit schlank verästelte Endocarpe darstellen können.

Der Mundtentakelkranz besteht aus etwa 36—48 mäßig schlank fadenförmigen Tentakeln, die mehr oder weniger regelmäßig, manchmal sehr unregelmäßig, nach dem Schema 1, 3, 2, 3, 1 angeordnet sind. Die Tentakel kleinster Ordnung sind, wie schon Hartmeyer angab, zum Teil fast rudimentär, bei manchen Stücken überhaupt nicht auffindbar, so daß sich bei diesen das Anordnungsschema auf 1, 2, 1, 2, 1 reduziert.

Die Präbranchialzone (Taf. I Fig. 4 und 7) ist mehr oder weniger intensiv, manchmal sehr dunkel, pigmentiert. Diese Pigmentierung weicht in Form und Farbe stark von der der Siphonenenden ab; sie ist mehr oder weniger dunkel rotbraun und ihre Elemente sind nicht scharf begrenzte Flecken, sondern verwaschene körnelige Wolken. Durch Flimmerbögen und Tentakelträger ist die pigmentierte Region ziemlich scharf begrenzt.

Das Flimmerorgan (Taf. I Fig. 4, 5, 7 und 8) zeigt, wie schon oben bemerkt, bei den verschiedenen Stücken einen so sehr verschiedenen Habitus, daß ich anfangs geneigt war, verschiedene Arten für die verschiedenen Formen aufzustellen. Eine nähere Prüfung an dem reichen mir zur Verfügung stehenden Material ergab jedoch, daß es sich hier der Hauptsache nach um verschiedene Kontraktions-, bezw. Erektionsformen eines ungemein kontraktilen bezw. dehnbaren Organes handelt, das im wesentlichen einen sehr charakteristischen und konstanten Bau zeigt. Ein Stück von Suës (Taf. I Fig. 4) stellt das Flimmerorgan im offenen, fast ganz ausgestrecktem Zustande dar. Es besteht der Hauptsache nach aus einem weit (rechts sogar sehr weit) klaffenden, V-förmigen Flimmergrubenspalt, dessen V-Öffnung gerade nach vorn gerichtet ist, und dessen Vorderenden nach auswärts umgebogen sind. Die inneren Ränder des Flimmergrubenspaltes sind median miteinander verschmolzen und bilden einen einheitlichen Mittelbalken, der bis nahe an den Hinterwinkel des »V« nach hinten ragt. An der geraden, queren Vorderkante ist das Flimmerorgan bis zur allgemeinen Ebene der Präbranchialzone abgeflacht. An den hinten in Rundung zusammenstoßenden Seiten bildet sein Rand einen wenig aufragenden, stellenweise scharfkantigen, stellenweise breiter abgestutzten Saum. Es erscheint mir fraglich, ob dieser Seitenrand bei etwaiger noch weiterer Streckung ebenfalls abgeflacht werden könne, etwa wie der Vorderrand. Ich habe kein derartiges, vollkommen ausgeebnetes Stadium gefunden. Die echten Variationen des Organs liegen im wesentlichen darin, daß die Vorderenden des Flimmergrubenspaltes zum Teil nicht nach außen, sondern (nur beim linken Horn vorkommend?) nach innen umgebogen oder ganz gerade gestreckt sind, ferner darin, daß die V-Öffnung nicht gerade nach vorne gerichtet ist, sondern mehr oder weniger nach links oder nach rechts; schließlich scheint auch der allgemeine Umriß des Organs etwas zu variieren, insofern er länger als breit, gerundet dreiseitig bis herzförmig, oder breiter als lang, quer-oval oder schräg-oval sein kann. Weit bedeutendere Habitus-Verschiedenheiten werden aber durch gewisse Kontraktions- und Aufrollungserscheinungen hervorgerufen. An das oben geschilderte Stadium voller Offenheit und teilweiser Ausebnung schließt sich ein Stadium an, wie das Hartmeyer'sche Original es zeigt (l. c. 1916, Textfig. 6). Bei diesem

erstreckt sich die saumförmige Erhabenheit des Randes auch über den vorderen Teil des Organs, das hier also allseitig durch einen erhabenen, aber noch ziemlich schmalen Saum eingefaßt ist. Eine mediane Einkerbung am Vorderrande des Organs deutet auf die ursprüngliche Paarigkeit der zu einem zungenförmigen Mittelstück verschmolzenen inneren Ränder des Flimmergrubenspaltes hin. Bei weiterer Zusammenziehung dehnt sich der Randsaum, der im Leben mutmaßlich eine kautschukartige Dehnbarkeit besitzt, und zieht sich mehr oder weniger weit nach der Mitte zu über das Organ hin, indem er zunächst als feines, etwas durchscheinendes Häutchen den hinteren Teil des Flimmergrubenspaltes sowie manchmal auch die abgebogenen Vorderenden desselben überdeckt, wie es sehr anschaulich an dem auffallend regelmäßig und symmetrisch gestalteten Flimmerorgan eines Stückes der Ehrenberg-Sammlung vom Roten Meer zu sehen ist (Taf. I Fig. 8). Das höchste mir zu Gesicht gekommene Kontraktions- bezw. Einrollungsstadium zeigt ein zweites Stück von Suës (Taf. I Fig. 7). Bei diesem hat sich das Flimmerorgan von querelliptischem Umriß und mit schräg nach vorn-links gerichteter V-Öffnung des Flimmergrubenspaltes zu einem fast knopfförmigen Körper zusammengezogen, der durch den vorhautartig emporgezogenen Randsaum zum größten Teil eng umhüllt ist, so daß nur auf der Kuppe diaphragmaartig eine quere Öffnung bleibt, durch die man in das Innere des Organs hineinschauen kann. Am schwersten verständlich sind gewisse Formen, wie sie das Flimmerorgan eines Stückes von Umm el Kyaman (Taf. I Fig. 5) darstellt, bei dem das ganze Organ stark verschoben (hier V-Öffnung quer nach rechts gewandt), und die Umhüllung durch den Randsaum ganz unregelmäßig (hier besonders weit vorgeschritten am hinteren Teil des linksseitigen V-Astes) vor sich gegangen ist. Lassen wir die bei allen Teilen der Diagnose hinzuzufügende Bemerkung »mehr oder weniger regelmäßig« weg, so können wir die verschiedenen Gestaltungen durch folgende Formel zusammenfassen: »Flimmerorgan von einem kontraktilen Saum umgeben, mit klaffendem, V-förmigem Flimmergrubenspalt, dessen innere Ränder zu einer medianen, in die V-Öffnung einspringenden Zunge verschmolzen sind.«

Der Kiemensack ist im allgemeinen sehr regelmäßig und fast symmetrisch gebaut, lang gestreckt, die ganze Länge des Peribranchialraumes von den Flimmerbögen bis zum hinteren Winkel durchmessend. Er ist, wie schon Hartmeyer angab, durch ungemein starke, zähe Trabekeln an dem Innenkörper befestigt. Die Rückenlinie des Kiemensackes ist fast ebenso lang wie die Bauchlinie. Die Schlundöffnung liegt nämlich fast am Hinterende des Kiemensackes, an dem dorsalen Teil der sich schräg nach hinten und ventralwärts von der geraden Rückenlinie abbiegenden, gerundeten Hinterkante des Kiemensackes. Eine sehr charakteristische und konstante Bildung zeigt das Hinterende des Endostyls. Der Endostyl läuft in fast gerader Erstreckung an der Ventralseite des Kiemensackes entlang bis an die Hinterkante des Kiemensackes und damit bis dicht an den Schlund bezw. an das Hinterende der Dorsalfalte. Hier tritt sein sich abgeplattet-röhrenförmig schließendes Hinterende als großer Blindsack vom Kiemensack nach hinten in den Peribranchialraum hinein, rollt sich nach Art einer Schneckenschale, etwa nach Art einer flacheren Helicine, nach oben hin zusammen und lagert sich gerade mitten an das Hinterende des Kiemensackes an. Der dem Endostyl-Ende gegenüber an dem dorsalen Winkel der Hinterkante des Kiemensackes entspringende und bogenförmig nach hinten — unten — vorn streichende Ösophagus umfaßt diesen hinteren Blindsack des Endostyls, mit dem er durch einen häutigen Bindegewebssaum verbunden ist. Die Windungen des hinteren Endostylblindsackes umfassen mindestens einen vollen Umgang, bei größeren Stücken aber mehr, zwei ganze Umgänge, wenn nicht noch etwas mehr. Ich habe diesen großen hinteren Endostylblindsack bei allen daraufhin untersuchten Stücken, einer recht großen Zahl, gefunden, auch bei dem Hartmeyer'schen Originalstück, an dem er allerdings, bei der Freilegung des Kiemensackes abgeschnitten, am Innenkörper haftete. Die nicht deutlich erkannte Retropharyngealrinne kann bei der Annäherung von Endostylhinterende und Schlundöffnung nur kurz sein. Der Kiemensack trägt jederseits 4 mäßig hohe, wenig oder nicht überhängende Falten. Die geringere Breite der untersten Falte IV, wie sie Hartmeyer bei

dem Originalstück fand, ist nicht immer deutlich ausgeprägt. So fand ich bei einem Stück von Suës folgende Anordnung der Längsgefäße auf den Falten und Faltenzwischenräumen:

rechts D. 0 (14) 2 (12) 3 (12) 2 (10) 2 E.

links D 2 (12) 3 (11) 3 (10) 3 (11) 2 E.

Im ganzen finden sich 7—16 Längsgefäße auf den Falten und 2—4 auf den Faltenzwischenräumen. Die Anordnung der Quergefäße weist viele Unregelmäßigkeiten auf. Es scheint das Schema 1, 3, 3, 3, 2, 3, 3, 3, 1 zugrunde zu liegen, doch sind die Quergefäße 1. und 2. Ordnung nicht immer deutlich zu unterscheiden und die 3. Ordnung, von denen ein Teil ausfallen kann, nicht immer gleich dick. An einigen Stellen schieben sich noch dünnere Quergefäße einer 4. Ordnung zwischen die niedere Ordnung ein, doch enden diese stets nach Überspannung einer geringen Zahl von Maschen. Diese Quergefäße 4. Ordnung können primär oder sekundär sein. In ersterem Falle fehlen sekundäre, parastigmatische Quergefäße ganz, aber auch in letzterem Falle bleiben sie spärlich. Die breitesten Maschen der Faltenzwischenräume sind bei verschiedenen Stücken verschieden breit, wenig oder beträchtlich breiter als lang. Bis zu einem gewissen Grade mag dieser Unterschied auf verschiedenartiger Kontraktion beruhen; doch kommt anscheinend auch eine gewisse Variabilität hinzu, denn auch die Zahl der in den breitesten Maschen enthaltenen Kiemenspalten, die nicht von der Kontraktion beeinflußt werden kann, variiert beträchtlich, nämlich von 6 bis 11. Die Maschen in den Räumen neben dem Endostyl sind etwas verbreitert und enthalten im Maximum 10—16 Kiemenspalten.

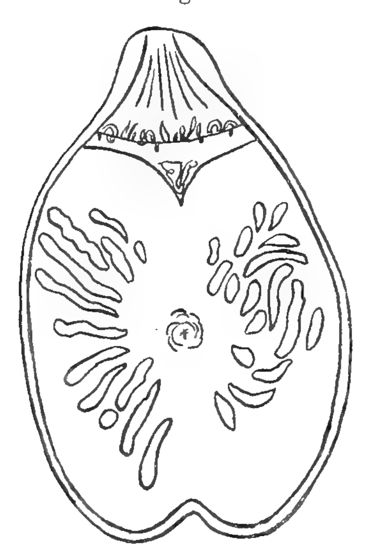
Die Dorsalfalte ist ein sehr langer, mäßig breiter, glatter und glattrandiger Saum.

Der an der linken Seite des Kiemensackes gelegene Darm (Taf. I Fig. 6 und 9, Textfig. 13) ist ganz auf die hintere Hälfte des Weichkörpers beschränkt. Der Verlauf des Darmes erscheint in geringem Maße verschieden; doch scheint dies nicht auf echter Variabilität, sondern auf verschiedener Kontraktion zu beruhen. Bei dorsoventral zusammengezogenen, drehrunden Weichkörpern sind die Darmschleifen-Äste und die abgebogenen End-Äste enger zusammengebogen und die Winkel an den Umbiegestellen spitzer. Darmschleife und End-Äste sind hierbei mehr in die Richtung der Längserstreckung des Weichkörpers gelegt. Bei dorsoventral verbreitertem, seitlich abgeplattetem Weichkörper sind die Darmschleifen-Äste und die abgebogenen End-Äste mehr auseinander gebogen, und die Biegungswinkel weniger spitz, so daß die verschiedenen Teile des Darmes mehr von der Richtung der Längserstreckung des Weichkörpers abweichen. Die Darmschleife verläuft mehr schräg nach vorn-unten, die abgebogenen End-Äste mehr schräg nach vorn-oben. Der mäßig lange, kantige Ösophagus geht in spitzwinkliger V-Form oder in bogenförmiger Krümmung vom unteren Winkel des Kiemensack-Hinterendes, sich in den hinteren Winkel des Weichkörpers einschmiegend, zunächst noch etwas nach hinten und dann nach vorn und bald unter ziemlich scharfem Absatz in den spindelförmig verdickten Magen (Taf. I Fig. 9) über. Der Magen verläuft fast gerade nach vorn oder mehr oder weniger schräg nach vorn-unten und bildet so den größeren Teil des vorlaufenden Darmschleifen-Astes. Der Magen ist äußerlich glatt, zeigt aber manchmal ziemlich deutlich, manchmal nur undeutlich, eine auf innere Falten hindeutende Längsstreifung. Nach Öffnung des Magens erkennt man, daß er außer einer durch eine tiefe Kantenfurche geteilten Nahtfalte 19 (oder etwas weniger?) weit in das Lumen hineinragende Längsfalten enthält. Ein langes, schlankes, am Magen-Ende verbreitertes Pylorusband geht vom Pylorus-Teil des Magens schräg nach vorn-oben zum zurücklaufenden Darmschleifen-Ast hinüber. Die verbreiterte Basis dieses Pylorusbandes umschließt mehr oder weniger unvollständig einen mäßig großen, schlanken, am blinden Ende eingerollten Pylorusblindsack. Manchmal ragt nur das äußerste Ende des Blindsackes aus der verdickten Basis des Pylorusbandes hervor, manchmal ist er fast ganz frei. Hartmeyer's irrtümliche Angabe: »Ein Blindsack fehlt«, l. c. p. 221, beruht darauf, daß das Originalstück, ein Unikum, aus musealen Gründen geschont, und der Darm nur »in situ« untersucht werden mußte, wobei der hier nur wenig aus der Basis des Pylorusbandes hervorragende und von Darmschleifen-Endocarpen verdeckte Blindsack, den ich nach Abpräparierung

einiger Darmschleifen-Endocarpe auch bei diesem Stück nachwies, kaum als solcher erkannt werden konnte. Der meist nur undeutlich vom Magen abgesetzte, wenigstens anfangs nur wenig dünnere Mitteldarm verläuft zunächst in gleicher Richtung wie der Magen, wendet sich aber bald in bogenförmiger Krümmung zurück und bildet, in einiger Entfernung vom Magen und demselben parallel verlaufend, den rücklaufenden Darmschleifen-Ast. Bevor er das Cardia-Ende des Magens erreicht, biegt er in mehr oder weniger spitzem Winkel oder in bogenförmiger Krümmung wieder nach oben-vorn um. Die Darmschleife ist demnach in ganzer Länge deutlich klaffend und zwischen den abgebogenen End-Ästen weit offen. Der Enddarm ist nicht scharf vom Mitteldarm abgesetzt. Der Afterrand ist schräg geschnitten und in eine verschieden große Zahl, etwa 6 bis 14, sehr kurze, manchmal herzförmig geschweifte Läppchen gespalten. Zwei sich gegenüber liegende Kerbschnitte des Afterrandes erscheinen häufig tiefer als die übrigen.

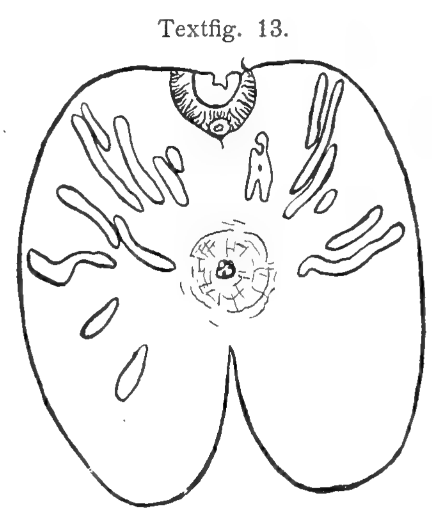
Der Geschlechtsapparat (Taf. I Fig. 9, Textfig. 12 bis 14) zeigt in Zahl, Anordnung und äußerer Gestaltung eine große Variabilität, ohne daß in der Verschiedenheit der Bildung eine Grundlage für die Sonderung von Varietäten gefunden werden könnte, man müßte denn fast jedes einzelne der vielen Stücke als Typus einer Varietät ansehen wollen. Die Elemente des Geschlechtsapparates erscheinen jederseits als eine mehr oder weniger große Zahl von zwittrigen, distal durch kurze, kegel- oder zipfelförmige Ausführgänge ausmündende Gonadenschläuche, die, basal abgeplattet und manchmal beiderseits schmal saumförmig gekantet, in ganzer Länge sehr fest an den Innenkörper angewachsen sind und als gerundete, ziemlich breite Liegebalken in den Peribranchialraum vorragen. Bei annähernd gleichbleibender Breite ist die Länge der Gonadenschläuche sehr verschieden, meist schon bei einem und demselben Stück, doch herrschen meist bei einem Stück längere oder kürzere Gonadenschläuche vor. Die kurzen Gonadenschläuche sind meist einfach gestaltet, mehr oder weniger gerade gestreckt. Die kürzesten sind nur wenig länger als breit und demnach nicht mehr

Textfig. 12.



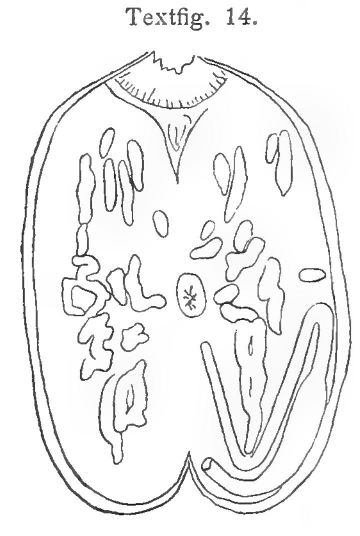
Cnemidocarpa hemprichi Hartmr. (Stück der Fig. 3 auf Taf. I). Weichkörper, durch einen ventralen Medianschnitt geöffnet, auseinandergeklappt, Kiemensack, Darm und Endocarpe entfernt; $^{2}/_{1}$.

Textfig. 13.



Cnemidocarpa hemprichi Hartmr. (Stück der Fig. 1 auf Taf. I). Wie Textfig. 13; $^{2}/_{1}$.

Textfig. 14.



Cnemidocarpa hemprichi Hartmr. (Stück der Sammlung Ehrenberg.) Wie Textfig. 12, aber nur Kiemensack und Endocarpe entfernt; $^{3}/_{4}$.

länglich, sondern oval. Die längeren Gonadenschläuche sind fast stets verbogen oder unregelmäßig geschlängelt. Nicht selten kommen an einzelnen oder an mehreren Gonadenschläuchen eines Tieres Verwachsungen oder Spaltungen, wie man es auffassen will, vor, gabel- oder Y-förmige Gonadenschläuche, auch brückenartige Verbindungen zwischen zwei benachbarten Gonadenschläuchen, also H-förmige Bildungen. Bei einem Stück (Textfig. 14) herrschen derartige Verwachsungen so sehr vor, daß die Gonadenschläuche stellenweise fast einen netzförmigen Verlauf ergeben und an die Gonaden

von *Cn. asymmetra* Hartmeyer[1] erinnern; doch bleibt es bei dieser *Cn. hemprichi* vielfach fraglich, ob eine Verwachsung benachbarter Gonadenschläuche vorliegt, oder ob sie nur aneinanderstoßen. Häufig ist das Lumen zwischen zwei an den Enden miteinander verwachsenen Schläuchen so eng, daß es aussieht, als läge ein einziger, in der Mitte verbreiterter und durchbohrter Schlauch vor. Dieser Eindruck wird dadurch verstärkt, daß das Lumen in der Regel von einem proximal stielförmig verengten Endocarp eingenommen wird. Manchmal aber ist das Lumen so weit, daß die Verwachsungsnatur nicht zu verkennen ist. In einem Falle fand ich einen Gonadenschlauch (vielleicht besser ausgedrückt, einen Gonadendoppelschlauch?), der eine geschlossene Ellipse darstellt; Halbellipsen und Bogenformen sind bei manchen Stücken nicht selten. Vielfach treten die komplizierteren Bildungen der Gonadenschläuche nur in einem beschränkten Gebiet des Innenkörpers auf, so z. B. bei einem Stück nur in der dorsalen Randpartie der Gonadengruppe, während sich im übrigen bei diesem Stück nur einfach schlauchförmige Gonaden finden. Bei einem anderen Stück (Textfig. 13) sind fast sämtliche Gonaden einfach schlauchförmig, und dazwischen findet sich nur eine einzige Doppelgonade mit H-förmiger Verwachsung. Auch die Zahl der Gonadenschläuche ist ungemein verschieden. Das Hartmeyer'sche Originalstück kommt dem Minimum der Anzahl wahrscheinlich nahe, doch ist die Zahl von Hartmeyer etwas zu gering angegeben worden. Hartmeyer hat rechts einen unter einem am Innenkörper haften gebliebenen Kiemensack-Fetzen verborgenen Gonadenschlauch übersehen und zwei allerdings sehr schmale, anscheinend rudimentäre Schläuche nicht mitgezählt. Es finden sich beim Originalstück demnach links 6, rechts 11 (davon 2 rudimentär) Gonadenschläuche. Bei anderen Stücken — nicht den größten — zählte ich rechts mehr als 40, links fast 40 Gonadenschläuche. (Eine genaue Zahlenangabe ist hier, wie in vielen Fällen, ausgeschlossen, da nicht immer festgestellt werden kann, ob es sich um zwei aneinander stoßende Schläuche oder um einen mit Kerbschnitt, hervorgerufen etwa durch Überspannung eines Bindegewebsstranges, versehenen Schlauch handelt.) Diese Extreme werden durch alle möglichen Zwischenstufen verbunden. Im allgemeinen finden sich die hohen Zahlen beim Vorherrschen kürzerer, einfacher, die niedrigen Zahlen beim Vorherrschen langer, geschlängelter Gonadenschläuche, doch spricht auch die Dichtigkeit der Anordnung mit. Auch die Anordnung der Gonadenschläuche ist sehr verschieden. Im allgemeinen zeigt das distale Ausmündungsende, besonders bei den längeren Gonadenschläuchen, nach der Egestionsöffnung hin, und bei geringerer Zahl langer Gonadenschläuche tritt, wie bei dem Originalstück, mehr oder weniger deutlich die Anordnung in einem Strahlenkranz-Bogen hervor. Vielfach, zumal beim Auftreten einer größerer Zahl kurzer Schläuche, ist von einer solchen Anordnung nichts zu erkennen. Manchmal ist rechterseits eine deutliche Strahlenkranz-Anordnung erkennbar, während sich linkerseits eine regellose Verteilung der Gonadenschläuche findet (Textfig. 12). Die anscheinende Gruppen-Sonderung unter den Gonadenschläuchen einer Seite, wie sie Hartmeyer auffaßt, muß als belanglose individuelle Verteilung angesehen werden. Die Gonadenschläuche sind zwittrig. Sie werden von einer dicken, zähen Bindegewebshaut umfaßt. In unausgebildeten Gonadenschläuchen fanden sich nur weibliche Gonaden in unreifem Entwicklungsstadium. Diese unausgebildeten Gonadenschläuche sind von einem mäßig weiten Achsenkanal durchzogen, in den von der Basis her ein ziemlich dicker Längssaum hineinragt. Die Ovarien sitzen in dem Raum zwischen dem äußeren festen Bindegewebsmantel und der zarten Auskleidung des Achsenkanals. Der in den Achsenkanal hineinragende Basalsaum scheint die Bildungsstätte für die männlichen Gonaden zu sein. Bei weiterer Entwicklung wird dieser Teil der Gonadenschläuche nämlich undeutlich, und an seiner Stelle, basal-median, findet sich ein breites Längsband von Hodenbläschen. Bei noch ziemlich jungen Gonadenschläuchen sind die Hodenbläschen durchweg unregelmäßig birnförmig und ziemlich regelmäßig zweizeilig angeordnet. Bei älteren Gonadenschläuchen sind die Hodenbläschen zum Teil vergrößert, gegabelt oder mehrlappig; auch ist die zweizeilige Anordnung

[1] *Tethyum asymmetron* Hartmeyer, Ascid. Deutsch. Tiefsee-Exp. 1898 bis 1899, p. 256, Taf. XLI Fig. 5 und 6.

nicht mehr deutlich zu erkennen. Die nicht ganz regelmäßige Wucherung der männlichen Gonaden stört auch die regelmäßige Gestalt und Lage des Achsenkanals. Manchmal nehmen die männlichen Gonaden die ganze Breite der Basis ein, vielfach werden sie aber von den Ovarien umfaßt und gegen die Achse des ganzen Organs hin gedrängt. Nach Hartmeyer kommt auch das Gegensätzliche vor, daß nämlich die Hodenpartie überwiegt, die Ovarien umfaßt und gegen die Achse drängt. Am distalen Ende münden die Gonadenschläuche durch einen kurzen, dünnen, kegel- oder zipfelförmigen, zarthäutigen Ausführapparat aus.

Gen. Polycarpa Hell.

Bei der Gattung *Cnemidocarpa,* oben S. 67, habe ich auf die Schwierigkeit der Sonderung derselben von *Polycarpa* hingewiesen. So unsicher wie die Begrenzung von *Cnemidocarpa* ist naturgemäß auch die der Gattung *Polycarpa.* Ich kann die Fassung der Diagnose, wie sie jetzt üblich ist, nur als eine vorläufige ansehen.

Polycarpa mytiligera (Sav.).

1816 *Cynthia mytiligera* + ? ? *C. solearis* + ? ? *C. cinerea* (? juv.) Savigny, Anim. s. vert. II[1], p. 98, 158, Taf. VIII Fig. 2 [p. 98, 159; p. 88, 160].

1834 *Ascidia mytiligera,* G. Cuvier (F. S. Voigt), Tierr., III, p. 589.

1891 *Styela mytiligera* + ? ? *St. solearis* + ? ? *St. cinerea,* Herdman, Rev. Class. Tunic., p. 589 [p. 589, p. 589].

1909 *Pandocia mytiligera* + ? ? *P. solearis* + ? ? *P. cinerea,* Hartmeyer, in: Bronn, Kl. Ordn. Tierr., p. 1364 [p. 1363, p. 1364].

1916 *Polycarpa mytiligera,* Hartmeyer, Neue und alte Styelid. Berlin. Mus., p. 208, Textfig. 1, 2.

Fundangabe: Suës, im Flachwasser am Strande; E. Bannwarth, 1913 (4 Stücke).

Ältere Angaben: Suës (nach Hartmeyer 1916); Rotes Meer, ohne nähere Angabe (nach Savigny 1816 und Hartmeyer 1916).

Ich habe der ausführlichen Beschreibung und Erörterung Hartmeyer's (l. c. 1916) nichts hinzuzufügen.

Policarpa ehrenbergi Hartmr.

1916 *Policarpa ehrenbergi* Hartmeyer, Neue und alte Styelid. Berlin. Mus., p. 213, Textfig. 3 bis 5.

Fundangaben: Gimsah-Bucht; R. Hartmeyer, Jänner 1902.

Umm el Kyaman (Umm el Jerman); R. Hartmeyer, Jänner 1902.

Ältere Angabe: Rotes Meer (nach Hartmeyer 1916).

Vorliegend mehrere kleine und sehr kleine Stücke, deren größtes 22 *mm* (basoapical), 16 *mm* (dorsoventral) und 8 *mm* (lateral) maß. Zwei der größeren Exemplare, deren innere Organisation näher untersucht worden ist, besaßen bereits anscheinend wohl ausgebildete Geschlechtsorgane. Sie stimmen im wesentlichen, zumal in der Gestalt des Flimmerorgans und des Darmes — in der Gestaltung dieser Organe liegt der hauptsächlichste Unterschied zwischen *P. ehrenbergi* und *P. mytiligera* Sav. — mit der Beschreibung Hartmeyer's überein; doch sind noch folgende Bemerkungen zu machen:

Ein Teil der Stücke, so eines der näher untersuchten und der Art nach sicher bestimmten, zeigt in Höhlungen des dicken Zellulosemantels einige Modiolarien eingebettet, wie es bei der ebenfalls aus dem Roten Meer stammenden und meiner Ansicht nach nahe verwandten *P. mytiligera* beobachtet wurde.

Die Zahl der Mundtentakel betrug bei einem der untersuchten Stücke zirka 32, wenn nicht einige, wenige mehr (gegen »etwa 50« bei den ausgewachsenen Originalstücken). Sie sind unregelmäßig abwechselnd sehr verschieden lang.

Der Afterrand zeigt außer einer scharfen Einkerbung am dorsalen Pol seines Ovals eine tiefe Einkerbung näher dem ventralen Pol seines Ovals, während an diesem ventralen Pol selbst keine deutliche Einkerbung zu erkennen ist. Der After ist demnach bilateral symmetrisch dreilippig, mit zwei breiteren lateralen und einer etwa halb so breiten ventralen Lippe. Die Lippen sind im übrigen ganz glattrandig, nicht »schwach eingekerbt« wie bei den ausgewachsenen Originalen. In Hinsicht auf die Gestalt des Afterrandes entfernen sich meine jugendlichen Exemplare also noch weiter als die erwachsenen Originale von *P. mytiligera,* bei der der Afterrand in zahlreiche kleine Läppchen zerschlitzt ist.

Das von mir daraufhin näher untersuchte Stück besaß nur ein einziges großes Darmschleifen-Endocarp, keine kleineren akzessorischen Endocarpe, wie Hartmeyer sie bei den Originalen und bei *P. mytiligera* fand.

Polycarpa policarpa (Sav.).

1810 (?) *Cynthia polycarpa* Savigny, Tabl. syst. Ascid. simples compos., p. 95, 157.
1816 *Cynthia polycarpa,* Savigny, Mém. Anim. s. vertèbr., II¹, p. 95, 157.
1909 *Pandocia polycarpa,* Hartmeyer, Tunic., in: Bronn, Kl. Ordn. Tierr., p. 1364.

Alte Fundangabe: Golf von Suës (nach Savigny).

Bemerkung: Diese bisher noch nicht wieder zur Beobachtung gelangte Art, die sich schon durch die behaarte Körperoberfläche (»poilu«) von allen anderen Styeliden des Roten Meeres unterscheidet, ist auch in den mir vorliegenden Sammlungen nicht vertreten. Nach der Schilderung der Geschlechtssäckchen (»ovaire« Savigny's) scheint es sich um eine echte *Policarpa*-Art zu handeln. Fraglich erscheint mir in der Beschreibung des einzelnen Geschlechtssäckchens, die gleichzeitig *P. pomaria* (Sav.) und *P. polycarpa* (Sav.) umfaßt (l. c. 1810 [?], p. ?, 1816, p. 95), ob der Doppelausdruck: »hémisphériques ou coniques« eine verschiedene Gestaltung der Geschlechtssäckchen bei jeder der beiden Arten andeuten soll, oder ob er so zu verstehen ist, daß die Geschlechtssäckchen bei P. pomaria »hémisphériques«, bei *P. polycarpa* dagegen »coniques« seien.

Polycarpa anguinea Sluiter var. **suesana** n. var.

(Textfig. 15.)

Synonymie und **Literatur** der *f. typica:*
1897 *Styela (Polycarpa) anguinea* Sluiter, Tunic. Süd-Afrika, p. 52, Taf. VI Fig. 15 bis 19.
1909 *Pandocia anguinea,* Hartmeyer, Tunic., in: Bronn, Kl. Ordn. Tierr., p. 1363.

Fundangabe: Suës, im Flachwasser am Strande; E. Bannwarth.

Verbreitung der *f. typica:* Kapland, Knysna (nach Sluiter).

Diagnose der var. suesana: Körpergestalt dorsoventral abgeplattet, oval mit scharf abgesetztem, langem, vor dem Hinterende der Rückenlinie gerade aufragendem Egestionssipho und divergierendem, kürzerem Ingestionssipho.

Innendorne oval-kuppelförmig, mit kurzem, dünnem, schräg nach vorn-oben ragendem Dorn, basal ca. 16 μ lang und 12 μ breit.

Kiemensack mit 12 bis 15 Längsgefäßen auf den Falten, mit 10 (7) bis 12 auf den Faltenzwischenräumen.

Geschlechtsapparat aus einer sehr großen Zahl, etwa 56, eiförmigen bis kurz wurstförmigen, frei im Peribranchialraum aufgehängten Geschlechtssäckchen bestehend.

Im übrigen wie *f. typica.*

Der *Polycarpa anguinea* (Sluiter) glaube ich als Varietät eine Form zuordnen zu sollen, die mir in einem einzigen Stück von Suës vorliegt. Leider ist dieses Stück sehr beschädigt, anscheinend bereits früher aufgeschnitten, der Weichkörper herausgenommen und zerfetzt. Trotzdem ließen sich die

meisten wesentlichen Charaktere noch feststellen. Nur über den »in situ«-Verlauf des Darmes und über die genaue Zahl und Anordnung der Geschlechtssäckchen kann ich nicht mit voller Sicherheit urteilen.

Manche Abweichungen der Suës-Form von der *f. typica* erscheinen auf den ersten Blick sehr bedeutend, so z. B. die Zahl der Geschlechtssäckchen (bei *f. typica* nach 3 untersuchten Stücken im ganzen 13, bei var. *suesana* ungefähr 56). Aber das Beispiel der *Cnemidocarpa hemprichi* Hartmeyer (siehe oben p. 82) zeigt, daß hierin, wie auch in manchen anderen Verhältnissen, eine sehr große Variabilität herrschen kann. Ich halte es nicht für ausgeschlossen, daß die Auffindung von vermittelnden Formen zur vollständigen Verschmelzung der neuen Varietät mit der typischen Form führen mag. Da sowohl die Sluiter'sche Beschreibung von der *f. typica*, wie meine von var. *suesana* einige Lücken enthält, so mag allerdings auch das Gegensätzliche eintreten, nämlich eine vervollständigte Kenntnis zur artlichen Sonderung der Varietät, als *P. suesana*, zwingen.

Beschreibung der var. suesana: Körpergestalt und Bodenständigkeit: Das Tier, das anscheinend mit der ganzen Ventralseite festgewachsen war, besitzt einen dorsoventral etwas abgeplatteten, unregelmäßig ovalen Körper, von dessen beiden Endpartien die deutlich ausgeprägten äußeren Siphonen divergierend aufragen. Der Ingestionssipho, der das schräg nach vorn-oben aufsteigende Vorderende des Körpers bildet, und dessen Grenze gegen den eigentlichen Körper infolgedessen nicht scharf ausgeprägt und nicht ohne weiteres feststellbar ist, mag kaum länger als dick sein. Der Egestionssipho ragt dagegen scharf abgesetzt etwas vor dem Hinterende der Rückenlinie gerade und ziemlich hoch auf; er ist ungefähr doppelt so lang wie dick. Beide Siphonen besitzen eine ziemlich beträchtliche Dicke, die fast der halben größten Körperbreite gleichkommt. (Bei der *f. typica* sollen die beiden fast gleich großen äußeren Siphonen dicht nebeneinander am Vorderende entspringen und nur schwach [spitzwinkelig] divergieren; doch handelt es sich hier um Tiere, die in enger Gruppe zusammengedrängt waren. Vielleicht zwang nur die Raumbeschränkung zu dieser Aneinanderdrängung der beiden Siphonen. Ferner soll bei *f. typica* der Ingestionssipho etwas länger und etwas dicker als der Egestionssipho sein. Es erscheint mir aber fraglich, ob das, was Sluiter als Ingestionssipho oder »Branchialsipho« bezeichnet, tatsächlich als Sipho anzusprechen sei. Nach der Abbildung des aufgeschnittenen Weichkörpers [l. c. Taf. VI Fig. 17] ragt der Kiemensack beträchtlich weit in diesen angeblichen Sipho hinein. Die Basis desselben ist also wohl nicht dem Sipho zuzurechnen, vielmehr als Teil des eigentlichen Körpers anzusehen, der hier ohne scharfen äußeren Absatz in den tatsächlich kürzeren Ingestionssipho übergeht.)

Dimensionen: Der eigentliche Körper ist ungefähr 40 *mm* lang (parallel der Dorsalfalte), 21 *mm* breit und 17 *mm* hoch (dorsoventral), der äußere Ingestionssipho ungefähr 10 *mm* lang und dick, der Egestionssipho ungefähr 18 *mm* lang und 9 *mm* dick.

Die Körperoberfläche ist sehr uneben, am eigentlichen Körper dicht mit den verschiedensten Fremdkörpern, Schlamm, Kalkkörnern und -stücken, Steinen und zum Teil großen Muschelschalen-Bruchstücken (bis 10 *mm* im Durchmesser erreichend), besetzt. Die äußeren Siphonen sind dagegen (wie bei der typischen Form) fast nackt. Sie lassen, vielleicht nur infolge von Verschrumpfung nicht ganz deutlich, 4 breitere und mit diesen alternierend 4 schmälere Längswülste erkennen und sind im feineren schwach und unregelmäßig warzig.

Die Körperöffnungen, gerade auf der Kuppe der äußeren Siphonen gelegen, sind regelmäßig vierlappig, bezw. vierstrahlig.

Die Färbung ist, abgesehen von der zum Teil gelblichgrauen Färbung des Inkrustationsmaterials, weißlich.

Der Zellulosemantel ist ziemlich dünn, weich knorpelig, aber sehr zäh, schwer zerreißbar, durchscheinend, im Schnitt weißlich, an der Innenfläche in den nackten Siphonenpartien weißlich,

an den inkrustierten Partien fleckig, weißlich, gelblich und bläulichgrau, sehr wenig perlmutterglänzend. Die ziemlich tief eingesenkte Inkrustation macht die Innenfläche des Zellulosemantels wohl uneben, aber nicht eigentlich rauh. (Nach Sluiter ist die Innenfläche des Zellulosemantels bei der f. *typica*, bei der die Inkrustation den Zellulosemantel ganz durchdringt und die Innenfläche durch die »nach innen vorragenden Sandkörnchen etwas rauh« und »sehr brüchig« macht, offenbar viel rauher als bei var. *suesana*.)

Innendorne sind vorhanden (von f. *typica* nicht angegeben). Sie stehen an der Zellulosemantel-Innenauskleidung der Siphonen ziemlich dicht und sind sehr winzig, elliptisch kuppelförmig mit kurzem, dünnem, schräg nach oben-vorn vorragendem Dorn. Ihre Basis ist etwa 16 μ lang und 12 μ breit, während ihre Höhe (Entfernung zwischen Dornspitze und Basis) etwa 10 μ betragen mag. Auf die Basalebene projiziert, erreicht die Dornspitze nicht ganz die Vorderkante des Basalovals.

Der Weichkörper schien sich leicht und glatt vom Zellulosemantel losgelöst und annähernd die Gestalt des äußeren Körpers besessen zu haben. Die inneren Siphonen, zumal der scharf abgesetzte Egestionssipho, sind noch jetzt deutlich erkennbar. Der innere Egestionssipho ist gut doppelt so lang wie dick, zylindrisch.

Der Innenkörper ist ziemlich dünn, und seine Muskulatur zart.

Die Innenfläche der Siphonen ist fast glatt, nur mit einigen den Strahlen der Körperöffnungen entsprechenden Längsfurchen versehen. Fadenpapillen konnte ich in den Siphonen nicht nachweisen.

Der Mundtentakelkranz besteht aus etwa 24 schlank fadenförmigen, sehr verschieden langen und entsprechend dicken Tentakeln, die nach ihrer Länge sehr unregelmäßig alternierend angeordnet sind. (F. *typica* mit etwa 60 Mundtentakeln.)

Das Flimmerorgan (Textfig. 15) ist ein niedriges, vorn-median eingekerbtes Polster mit mäßig engem Flimmergrubenspalt. Die Linie des Flimmergrubenspaltes stellt ein nach vorn geöffnetes schmales *U* mit ziemlich langen, nach außen und hinten abgebogenen Hörnern dar; die *U*-Form nähert sich durch diese abgebogenen Hörner einer schmalen, nicht ganz symmetrischen *M*-Form. (Bei f. *typica* ist der Flimmergrubenspalt ähnlich, »hufeisenförmig, aber die beiden Schenkel sind gekrümmt und nach einander zu gebogen«, ein unwesentlicher Unterschied.)

Textfig. 15.



Flimmerorgan von *Polycarpa anguinea* (Sluit.) var. *suesana*, n. var.; schematisch; 15/1.

An der Basis des Egestionssiphos liegt ein sehr schmales, nicht überall deutliches Kloakalvelum, und an demselben steht ein einfacher Kranz ungemein dünner, fadenförmiger Kloakaltentakel von durchschnittlich etwa 0·45 *mm* Länge und nach ziemlich unsicherer Schätzung etwa 10 μ Dicke. (Von f. *typica* nicht erwähnt.)

Endocarpe fehlen (wie bei f. *typica*) vollständig.

Der Kiemensack trägt jederseits 4 mäßig breite, überhängende Falten. Die Zwischenräume zwischen den Falten sind auffallend breit, so daß der freie Rand einer Falte noch in weitem Abstand von der Basalkante der benachbarten Falte zu liegen kommt. Die Zahl der Längsgefäße beträgt auf den annähernd gleich breiten Falten 12—15, auf den Faltenzwischenräumen etwa 10 (7) bis 12. Eine Auszählung ungefähr in der Mitte des Kiemensackes ergab folgendes Schema der Längsgefäßanordnung:

Links: D. 7 (14) 12 (15) 10 (12) 10 (15) 12 E.

An anderer Stelle hätte die Auszählung ein etwas anderes Schema ergeben, da einzelne Längsgefäße stellenweise von einer Falte auf den Faltenzwischenraum übertreten. Die Quergefäße sind an Dicke nur wenig verschieden. Sekundäre, parastigmatische Quergefäße treten stellenweise auf. Die breitesten Maschen enthalten bis 5 schmale, parallelrandige Kiemenspalten. Die Schlundöffnung liegt weit hinten. Die Retropharyngealrinne ist infolgedessen sehr kurz. Die Dorsalfalte ist ein

langer, mäßig breiter, glatter und glattrandiger Saum, an dessen basaler Hälfte sich die hier saumförmigen und etwas verbreiterten Quergefäße fast rippenartig ansetzen; die Dorsalfalte ist jedoch nicht eigentlich gerippt. (Der Kiemensack der f. *typica* stimmt in den wesentlichsten Charakteren mit dem der var. *suesana* überein; doch fand Sluiter nur 6—8 Längsgefäße auf den Faltenzwischenräumen und nur 3—4 Kiemenspalten in den Maschen, belanglose Unterschiede, die vielleicht zum Teil auch auf verschiedener Auffassung — so bei der Zuordnung der Längsgefäße zu Falte oder zu Faltenzwischenraum — beruhen mögen. Die Dorsalfalte soll nach Sluiter deutlich gerippt sein. Diese Angabe ist wohl auf die saum- oder rippenförmigen Ansätze der Quergefäße zu beziehen.)

Die Lage des Darms ist an dem Untersuchungsmaterial nicht mehr genau festzustellen; doch entspricht die Gestalt, in die die abgelöste Darmschleife sich infolge ihrer Spannung von selbst einbiegt, zweifellos dem normalen Verlauf des Darmes. Hiernach bildete er eine in ganzer Länge deutlich klaffende einfache Schleife, deren Äste etwas unregelmäßig verbogen waren und sich am Schleifen-Ende berührten, so daß die Schleife hier geschlossen war. Der Wendepol der Schleife muß über die Körpermitte hinaus nach vorn geragt haben. Während der rektale End-Ast nach hinten gerade auslaufend endete, war der ösophageale End-Ast kurz und fast spitzwinklig geknickt. Der Magen ist ziemlich scharf abgesetzt, dick und ein wenig länger als dick, schief eiförmig, äußerlich fast glatt, nur undeutlich und unregelmäßig streifig, innerlich mit etwa 15 nicht ganz regelmäßigen Längsfalten versehen. Ein freier Pylorusblindsack ist nicht vorhanden, doch scheint am Pylorus-Ende des Magens ein winziger Blindsack ganz in der auch hier äußerlich ebenen Magenwandung verborgen zu sein (nicht ganz sicher nachgewiesen!). Der Magen bildet zusammen mit einer kurzen Strecke des Ösophagus die hintere Hälfte des vorlaufenden Astes der Darmschleife. Der dünnere Mitteldarm bildet die vordere Hälfte des vorlaufenden Astes und zusammen mit dem nicht scharf abgesetzten Enddarm den ganzen rücklaufenden Ast der Darmschleife. Der Afterrand ist zurückgeklappt und durch scharfe Kerbschnitte in 15 bogen- bis halbkreisförmige Läppchen zerschlitzt. Die Läppchen sind meist fast gleich breit, doch sind einige wenige (vorn-median 2, hinten-median 3?) deutlich vergrößert. (Die Gestaltung des Darmes der var. *suesana* gleicht im wesentlichen der der f. *typica*, bei der aber Magenstruktur und Gestaltung des Afterrandes unbekannt sind; doch scheint die Darmschleife bei var. *suesana* etwas mehr gestreckt zu sein, wahrscheinlich aber nur infolge Einschmiegung in den zur Verfügung stehenden Raum, der wieder von der besonderen Körperform abhängig ist.)

Der Geschlechtsapparat besteht aus zahlreichen unregelmäßig-eiförmigen bis dick- und kurz-wurstförmigen zwittrigen Geschlechtssäckchen, die an Bindegewebssträngen frei zwischen Innenkörper und Kiemensack aufgehängt waren. Bei dem vorliegenden zerfetzten Stück waren sie nach Zerreißung der Bindegewebsstränge teils am Kiemensack, teils am Innenkörper hängen geblieben. Es erscheint mir nicht ausgeschlossen, daß bei der Zerreißung des Weichkörpers einige Geschlechtssäckchen verloren gegangen seien, daß also die jetzt noch vorhandene hohe Zahl nicht die tatsächliche volle Anzahl darstellt. Ich zählte 56 Geschlechtssäckchen, von denen etwa 36 der rechten Seite, etwa 20 der linken Seite angehört zu haben scheinen. Über ihre Anordnung kann ich im übrigen nichts sicheres aussagen. Es schien mir, als ob sie stellenweise zu Bogenlinien und zu Doppelbogenlinien (zweizeiligen Bögen) zusammengeordnet gewesen seien.

Die einzelnen Geschlechtssäckchen stellen äußerlich ziemlich glatte, zwittrige Organe dar. Die Hodenbläschen sind ziemlich groß, teils unregelmäßig eiförmig, teils zwei- oder dreilappig oder unregelmäßig *V*-förmig. Sie bilden innerhalb des Geschlechtssäckchens zu vielen eine eng geschlossene Doppelzeile oder liegen zu wenigen, durch weite Zwischenräume voneinander getrennt, zerstreut. Der größere von ihnen frei gelassene Raum wird vom Ovarium eingenommen. Die Ausmündungsapparate scheinen an einem Pol des Geschlechtssäckchens dicht nebeneinander zu liegen (die männlichen nicht ganz deutlich erkannt!), die weiblichen Ausführgänge als einfache, nicht oder kaum vorragende Schlitze mit unregelmäßig eingekerbtem Rande, die männlichen als kleine zipfelförmige Papille (?). (Der Geschlechtsapparat scheint ziemlich stark von dem der f. *typica* abzuweichen, hauptsächlich wohl

durch die hohe Zahl der Geschlechtssäckchen [mindestens 56, gegen 13 bei f. *typica*]. Auch scheint die Gestalt der Geschlechtssäckchen bei f. *typica* schlanker zu sein — schmal bezeichnet Sluiter sie — als bei var. *suesana.* Nach der Abbildung [l. c. Taf. VI Fig. 17] sind sie tatsächlich schlank wurstförmig. Vielleicht beruht das aber nur auf größerer Länge, und diese mag wieder mit der geringeren Zahl zusammenhängen, so daß der ganze Unterschied sich auf eine Variabilität der Anzahl zurückführen ließe. Fraglich bleibt allerdings auch noch, ob die Geschlechtssäckchen bei f. *typica* so frei im Peribranchialraum aufgehängt sind wie bei var. *suesana.* Sluiter gibt an: »ragen sie als dünne, weißliche Schläuche in den Peribranchialraum hervor«.)

Bemerkungen: Wie die obige Schilderung ergibt, weicht var. *suesana* hauptsächlich durch die Zahl der Mundtentakel (minder wesentlich?) und durch die Zahl und Gestalt der Geschlechtssäckchen von f. *typica* ab. Als bedeutsame, beiden Formen gemeinsame, also der Art zukommende Charaktere sehe ich die scharfe Ausprägung äußerer Siphonen, das vollständige Fehlen von Endocarpen, die auffallende Breite der Zwischenräume zwischen den Kiemensackfalten und die Gestaltung des Darmes an.

Polycarpa coccus n. sp.

(Tafel I Fig. 13—15 u. Textfig. 16.)

Fundangabe: Gimsah-Bucht, an einem Stein; R. Hartmeyer, 11.—17. Jän. 1902 (viele Stücke).

Diagnose: Körper elliptisch-polsterförmig bis biskuitförmig, bis 8 *mm* lang.

Äußere Siphonen schwach erhaben, warzenförmig. Körperöffnungen querspaltig bis lochförmig.

Körperoberfläche nackt, fast ganz eben, etwas duff.

Zellulosemantel ohne Blasenzellen, wenn nicht mit sehr spärlichen.

Ingestionssiphonen-Innenfläche mit rundlichen blasigen Erhabenheiten, die der Zahl der Mundtentakel (ca. 12) entsprechen.

Kiemensack mit 4 Falten jederseits. Falte I und III stark erhaben, II und IV links wenig erhaben, rechts fast flach, rudimentär.

Magen mit 8 scharf gesonderten, im allgemeinen ziemlich gleichmäßig über den Umfang verteilten Längswülsten und einem Nahtwulst. Ein kleiner Pylorus-Blindsack vorhanden. After glattrandig.

Geschlechtsorgane: Jederseits an der Ventralseite ca. 9 dick-eiförmige, zum Teil isolierte, zum Teil durch Verwachsung der Hüllen zu rosenkranzförmigen Strängen verschmolzene Geschlechtssäckchen, die im allgemeinen je 2 dick-birnförmige, distal konvergierende Hodenbläschen und 1 Ovarium enthalten.

Beschreibung: Körpergestalt und Bodenständigkeit: Die Gestalt der mit der ganzen Ventralseite an den flachen Untergrund, einen Kalkstein, angewachsenen Tiere (Taf. I Fig. 13 u. 15) ist meist elliptisch-polsterförmig, nicht ganz doppelt so lang wie breit und ungefähr halb so hoch wie breit, selten etwas mehr gestreckt, mehr als doppelt so lang wie breit und dann meist in der Mitte etwas verschmälert, biskuitförmig. Es läßt sich aus der Art des Untergrundes eine Erklärung für diese gestreckte Gestalt mancher Stücke nicht entnehmen. Platzmangel ist offenbar nicht der Grund für diese anscheinend abnorme Gestaltung; denn den betreffenden Stücken stand seitlich genügender Untergrundraum zur Verfügung. Der Anwachsrand ist unregelmäßig saumförmig ausgezogen, gelappt und zerschlitzt. Die äußeren Siphonen stellen niedrig-warzenförmige, manchmal undeutliche Erhabenheiten dar, die in der Mittellinie der Rückenseite ungefähr gleich weit von den Polen entfernt und ungefähr um die halbe Länge der größten Körperachse, manchmal etwas weniger, manchmal etwas mehr, voneinander entfernt liegen.

Die Färbung ist hell-schiefergrau.

Dimensionen: Die größten normalen Stücke sind, abgesehen vom Anwachssaum, etwa 7 *mm* lang, 4 *mm* breit und 2 *mm* hoch; gestreckte Tiere können bei etwas geringerer Breite bis 8 *mm* Länge erreichen.

Aggregation: Die Tiere sitzen zu vielen in ziemlich dichter Gruppe beisammen, meist deutlich isoliert, aber aneinanderstoßend. An einzelnen Stellen glaube ich eine Verschmelzung der aneinander-

stoßenden Anwachssäume erkannt zu haben; doch handelt es sich hier offenbar um sekundäre Verwachsung als Aggregation, nicht um einen ursprünglichen, auf Knospung beruhenden Zusammenhang.

Die freie Körperoberfläche (Taf. I Fig. 15) ist nackt und rein, fast eben, etwas duff, im feineren sehr zart körnelig und mehr oder weniger deutlich streifig. Im Umkreis der Körperöffnungen nehmen diese Streifen bezw. Körnelungsstreifen eine strahlige Anordnung an, während sie zwischen den Körperöffnungen mehr oder weniger genau parallel der Rückenlinie verlaufen.

Die Körperöffnungen (Taf. I Fig. 15) sind unregelmäßig lochförmig, manchmal mehr, manchmal weniger längsspaltig, selten auch durch strahlenförmige seichte Einkerbungen des Randes fast strahlig, aber nicht deutlich vierstrahlig.

Der Zellulosemantel ist an der freien Körperoberfläche mäßig dick (etwa 140 μ dick), an der Anwachsfläche dünn (etwa 40—80 μ dick), fest, lederartig, undurchsichtig, im Schnitt weißlich grau, an der Innenfläche stark grau-perlmutterglänzend. An mikroskopischen Schnitten erscheint der Zellulosemantel, mit Ausnahme der zart korrodierten, etwas schwammigen Oberflächenschicht, massig faserig. Blasenzellen sind im Zellulosemantel nicht sicher nachgewiesen worden und jedenfalls nicht so zahlreich ausgebildet wie bei der nahe verwandten *P. steindachneri* (siehe unten!). Manchmal fanden sich allerdings Gebilde, die wie Blasenzellen aussehen, im Zellulosemantel der *P. coccus*, jedoch so spärlich — es werden kaum mehr als 2 in einem Schnitt durch das ganze Tier getroffen —, daß ich sie nicht als allgemein ausgebildete Elemente ansehen kann.

Innendorne scheinen nicht vorzukommen.

Der Weichkörper haftet überall ziemlich fest am Zellulosemantel und hat bei der ziemlich gleichförmigen Dicke des Zellulosemantels annähernd die gleiche Form wie der Körper der Tiere im ganzen. Die inneren Siphonen sind vielleicht ein wenig deutlicher ausgeprägt als die äußeren. Der ganze Weichkörper ist ziemlich dunkel rötlichbraun gefärbt. Eine besondere, dunkel braunrote, auf der Anhäufung von kugeligen, etwa 4 μ dicken Pigmentkörnern beruhende Pigmentierung zeigt die Innenauskleidung des Egestions- und des Ingestionssiphos sowie die ventrale Medianlinie. An anderen Teilen des Weichkörpers sind solche Pigmentkörner spärlich zerstreut, oder sie fehlen ganz.

Der Innenkörper ist ziemlich dick, aber mit nur dünner Muskelschicht versehen.

Die Innenfläche der Siphonen zeigt eine sehr charakteristische Gestaltung. Der Ingestionssipho trägt an der Innenfläche dicht außerhalb des Tentakelträgers einen Kranz großer, rundlicher, unregelmäßig kreisförmiger, dicker, blasig-polsterförmiger Erhabenheiten. Dieselben sind unregelmäßig alternierend verschieden groß. Die größten überwölben ihre kleineren Nachbarn etwas und reichen distalwärts ungefähr bis zur Mitte der Radien der Siphonenfläche, bezw. des Tentakelträgerkreises. Ihre Zahl, anscheinend der Zahl der Mundtentakeln gleichend, beträgt bei einem näher untersuchten Stück 11. Distalwärts von diesem Polsterkranz bis zur äußeren Öffnung zeigt die Siphoneninnenfläche zahlreiche kleinere, fältelige Erhabenheiten, deren größere, etwa 17 an Zahl, gerundet kegelförmig vorragen und wiederum zu einem Kranz zusammengestellt scheinen. Ganz anders sieht die Innenfläche des Egestionssiphos aus. Diese ist dicht besetzt mit zahlreichen viel kleineren blasigen Erhabenheiten, die hier aber nicht einen einfachen Kranz bilden, sondern eine breite Ringgruppe, deren Tiefe von 4 bis 6 gegen die äußere Öffnung kleiner werdenden Polstern gebildet wird. Fadenförmige Siphonalpapillen konnten nicht nachgewiesen werden.

Die Mundtentakel sind einfach fadenförmig, ziemlich plump, sehr verschieden lang und, wenigstens bei einem näher untersuchten Stück, ohne Regel der Anordnung nach Größe. Dieses näher untersuchte Stück besaß anscheinend 11 Mundtentakel (tatsächlich zählte ich weniger, nämlich nur 9, doch schienen zwei abgerissen zu sein), von denen aber einer so klein war (buckelförmig), daß er kaum als Tentakel angesprochen werden konnte. Die Mundtentakel scheinen nach Zahl und Lage dem Kranz großer Siphonalpolster zu entsprechen; sie stehen meist ziemlich genau unterhalb der Mitte der Basis je eines dieser Polster.

Der Egestionssipho ist proximal durch ein sehr schmales, niedriges Kloakalvelum begrenzt. An dem der Egestionsöffnung zugekehrten Rande des Velums steht ein ziemlich dichter Kranz zarter Kloakaltentakel, die durchschnittlich etwa 50 μ lang, etwas oberhalb der Basis 5 μ dick und gegen das freie Ende etwas verjüngt sind. In ungefähr $^1/_8$ Kreisbogen zählte ich 10 Kloakaltentakel. Eine gleichmäßige Verteilung über den ganzen Kreis vorausgesetzt (sie waren wegen der verschiedenen, stellenweise sehr geringen Durchsichtigkeit des mikroskopischen Präparats nur an einzelnen Teilen des Kreises deutlich erkennbar), mag ihre Zahl im ganzen also etwa 80 betragen.

Das Flimmerorgan ist ein kaum über die Fläche der Präbranchialzone hervorragender länglich ovaler Körper mit einem langen, eng geschlossenen, gerade gestreckten einfachen Längsschlitz.

Der Kiemensack ist nicht ganz symmetrisch gebaut, dorsoventral und etwas schräg nach der Richtung vorn-hinten abgeplattet. Er trägt jederseits 4 Falten von verschieden starker Ausprägung. Die Falten I jederseits neben der Dorsalfalte und die Falten III sind sehr scharf ausgeprägt, stark erhaben, wenn auch nicht gerade stark überhängend (überhängend nur bei stark zusammengedrücktem Körper bezw. Kiemensack); sie tragen 11—13 Längsgefäße. Die Falten II und IV dagegen sind sehr schwach ausgeprägt, nur an der linken Seite etwas erhaben (am stärksten noch die Falte II der linken Seite), an der rechten Seite fast flach, rudimentär, links mit ca. 5 bezw. 7 Längsgefäßen, rechts mit ca. 4 bezw. 3 Längsgefäßen. Auf den Faltenzwischenräumen stehen meist 2 oder 1, selten 3 Längsgefäße. Der Raum neben dem Endostyl kann auch der Längsgefäße ganz entbehren. Es erscheint vielfach fraglich, ob man ein gewisses Längsgefäß der betreffenden Falte oder dem daranstoßenden Faltenzwischenraum zuordnen soll. Vielfach sind auch die Längsgefäße verkürzt oder treten vor dem Ende der Falte von ihr herunter auf den Faltenzwischenraum. Die schwächeren Falten II und IV verlieren sich manchmal am Hinterende ganz. Es erscheint demnach die zweifellos etwas variable Anordnung der Längsgefäße an verschiedenen Stellen eines und desselben Kiemensackes verschieden. Das folgende Schema der Längsgefäßverteilung, einem tadellosen Querschnitt ungefähr von der Mitte der Kiemensack-Länge entnommen, kann demnach nur als annähernd gelten.

Rechts: D. 1 (13) 2 (4) 2 (12) 2 (3) 0 E.

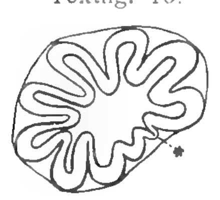
Links: D. 0 (11) 2 (5) 1 (12) 3 (7) 1 E.

Die Quergefäße sind annähernd gleich stark. Sekundäre, parastigmatische Quergefäße fehlen. Die Maschen sind im allgemeinen sehr schmal, selbst auf den Faltenzwischenräumen kaum 2 Kiemenspalten enthaltend. Da die Kiemenspalten meist mehr oder weniger schräg zur Richtung der inneren Längsgefäße gestellt sind, so ist ihre Zuordnung zu den einzelnen Maschen nicht genau ersichtlich. Nur in den Räumen zu Seiten der Dorsalfalte und zumal des Endostyls sind die Maschen breiter, bis 6 oder 7 Kiemenspalten fassend. Die Kiemenspalten sind langgestreckt, fast parallelrandig. Der Endostyl verläuft vorn und in der Mitte des Körpers annähernd in der Mittellinie der Anwachsfläche des Körpers, hinten schweift er ein sehr geringes nach der rechten Seite, um hier Raum für den zwischen der linken Seite des Kiemensackes und der Anwachsfläche liegenden Darm zu schaffen. Das Hinterende des Endostyls bildet einen winzigen, gerundet kapuzenförmigen; wenig vorragenden Blindsack. Die Dorsalfalte ist ein ziemlich langer, mäßig breiter, glatter und glattrandiger Saum. Papillen sind am Kiemensack nicht gefunden worden.

Der Darm liegt hinten an der linken Seite des Kiemensackes, den er nach hinten ein sehr geringes überragt, an der Ansatzfläche des Körpers und nimmt nur wenig mehr als das hintere Drittel, weniger als die Hälfte der Ansatzfläche ein. Er ist zu einer nach vorn ragenden unregelmäßig ovalen bis dreiseitigen, weit klaffenden, am Ende geschlossenen Schleife mit scharf nach vorn-oben abgebogenen, aneinander gelegten End-Ästen zusammengebogen. Der Ösophagus ist ziemlich lang und dünn, kantig, wenig gebogen. Er bildet, fast gerade nach hinten verlaufend, den einen abgebogenen End-Ast und geht hinten in scharfem Absatz in den großen orangenförmigen Magen über. Der Magen

(Textfig. 16) (bei 4 Stücken genauer untersucht und im wesentlichen gleich befunden) läßt schon äußerlich deutlich 9 scharf ausgeprägte, fast gerade von Pol zu Pol verlaufende Längswülste erkennen. Diese Wülste sind im allgemeinen gleich breit und ziemlich gleichmäßig über den Umfang des Magens verteilt (im Gegensatz zu *P. steindachneri* n. sp. und *P. miniata* [Sluit.] — siehe unten!). Ein Wulst neben der Magennaht, der Nahtwulst, ist jedoch stets viel schmäler als die übrigen und auch nicht so scharf von dem sich rechts anschließenden Wulst gesondert. In keinem Falle kommen in einer Seitenansicht des Magens mehr als 5 Längswülste zur Anschauung. Am Pylorus-Ende entspringt ein kleiner, frei gegen den Anfang des Mitteldarmes hin abragender birnförmiger Pylorusblindsack. Die Lage des Magens ist bei verschiedenen Stücken etwas verschieden. Bei einem Stück z. B. gehörte er schon ganz dem vorlaufenden Darmschleifen-Ast an. Mit einer ganzen Längsseite der Anwachsfläche anliegend, zeigte er sich nach Abhebung des Kiemensackes bei Betrachtung von der Rückenseite her genau im Profil. Bei einem das andere Extrem darstellenden Stück nahm er gewissermaßen noch etwas an der Abbiegung des ösophagealen Darmschleifen-End-Astes teil, insofern sein Cardia-Pol aufwärts gerichtet war. Bei Betrachtung von der Rückenseite her sah man etwas schräg auf diesen Cardia-Pol und die von ihm ausstrahlenden 9 Magenlängsfalten. Der Mitteldarm ist ziemlich scharf vom Magen abgesetzt, anfangs, im Bereich des vorlaufenden Darmschleifen-Astes, ungefähr halb so dick wie der Magen, im Bereich des rücklaufenden Darmschleifen-Astes und des abgebogenen rektalen End-Astes etwas dünner. Der Mitteldarm läßt schon äußerlich eine helle Längslinie, eine Leitrinne, erkennen. Der Enddarm ist nicht scharf vom Mitteldarm unterschieden. Der After ist ein glattrandiger, klaffender, etwas schräg liegender Spalt.

Textfig. 16.



Querschnitt durch den Magen von *Polycarpa coccus* n. sp., schematisch; 27/1. * Magennaht, bzw. Nahtwulst.

Die Geschlechtsorgane (Taf. I Fig. 14) zeigen in ihrer Anordnung eine eigenartige Variabilität, die in interessanter Weise die Entstehung der Polycarpe aus einzelnen größeren Geschlechtsapparaten beleuchtet. Die Geschlechtsorgane liegen an der Ventralseite jederseits in einiger Entfernung von der Mittellinie. Es finden sich hier jederseits ungefähr 9 meist zwittrige Gonadengruppen in einer mehr oder weniger, aber wohl nie ganz regelmäßigen Längslinie angeordnet. Wenigstens einige dieser Gonadengruppen waren stets aus der Längslinie herausgetreten. Im allgemeinen ist jede Gonadengruppe von einem blasigen Sack umhüllt und zu einem isolierten dick-ovalen Geschlechtssäckchen ausgebildet. Wenigstens bei einigen Stücken, wenn nicht bei allen, ist jedoch ein Teil — im Maximum fand ich 6 — dieser Geschlechtssäckchen miteinander verwachsen, so zwar, daß sie einen rosenkranzförmigen Geschlechtsstrang bilden, dessen Erweiterungen je eine der im übrigen gesondert bleibenden Gonadengruppen enthält. Außer diesen Geschlechtssträngen fanden sich stets noch einige anscheinend vollkommen gesonderte Geschlechtssäckchen. Jede Gonadengruppe, liege sie nun einzeln in einem gesonderten Geschlechtssäckchen oder in einer Reihe mit anderen innerhalb eines rosenkranzförmigen Geschlechtsstranges, ist im allgemeinen zwittrig, aus einem Ovarium und zwei Hodenbläschen zusammengesetzt. In einem Falle (eine der 6 Gonadengruppen des längsten beobachteten Geschlechtsstranges) fand ich nur ein einziges Hodenbläschen in einer Gonadengruppe, in zwei isolierten Geschlechtssäckchen fand ich gar kein Hodenbläschen, sondern nur ein Ovarium; andrerseits fand ich in einem anderen isolierten Geschlechtssäckchen kein Ovarium, sondern nur Hodenbläschen, und zwar diese ausnahmsweise in der Dreizahl. Es kommen also neben den bei weitem vorherrschenden zwittrigen Gonadensäckchen ganz vereinzelt auch eingeschlechtliche vor, und zwar sowohl männliche wie weibliche; diese eingeschlechtlichen treten aber so spärlich auf, daß sie wohl als abnorme Ausbildungsweise der Geschlechtssäckchen anzusprechen sind. Die Geschlechtssäckchen müssen im allgemeinen als zwittrig angesehen werden. Die Hodenbläschen liegen stets basal, aber meist etwas zur Seite geschoben. Sie sind eiförmig, durchschnittlich etwa 0·2 *mm* lang und 0·14 *mm* dick, an einem Pol meist etwas schmäler als an dem andern. Die verschmälerten Pole der beiden Hoden-

bläschen sind einander meist deutlich genähert. Mutmaßlich sind es die Ausmündungspole, die wahrscheinlich durch einen gemeinsamen Ausführgang ausmünden. Die Ovarien liegen mehr oder weniger schräg auf den Hodenbläschen, berühren aber seitlich auch die Basis des Geschlechtsapparates. Es sind proximal dünne, distal verdickte Stränge, die durch spiralige Aufrollung oder durch Zusammenknickung in die engen Räume der Geschlechtssäckchen eingeschmiegt sind. Die weiter entwickelten Eizellen liegen an der Seitenkante und am Ende des verdickten distalen Ovariumteiles. Die nur noch locker am Ovarium haftenden größten Eizellen, bis 3 an einem Ovarium beobachtet, sind etwa 0·1 *mm* dick. Das ganze Geschlechtssäckchen hat durchschnittlich eine Dicke von etwa 0·35 *mm*, bei einer Länge von etwa 0·4 *mm*. Hervorragende Ausführwege sind nicht erkennbar; ein auf flachem Grunde an einem Pol liegender schnörkeliger Spalt (nur einmal einigermaßen deutlich erkannt) mag als weibliche Ausführöffnung angesprochen werden.

Erörterung. Das Auftreten von eingeschlechtlichen Geschlechtssäckchen neben zwittrigen bei *P. coccus* erinnert sehr an die Polyzoine *Stolonica socialis* Hartmr.[1] Auch die Zurückbildung der Kiemensackfalten II und IV bei *P. coccus*, wie bei den nahe verwandten *P. steindachneri* und *P. miniata* (und *P. tritonis?*), sowie die Bildung des Darmes bringt diese Artgruppe der *Stolonica socialis* morphologisch näher. Will man mit Hartmeyer einen polyphyletischen Ursprung der Polyzoinen annehmen, so wäre die Gattung *Stolonica* an diese *Polycarpa*-Gruppe anzuschließen.

Weitere Erörterungen siehe unten unter *P. steindachneri* n. sp.

Polycarpa steindachneri n. sp.

(Taf. I Fig. 16 und Textfig. 11.)

Fundangabe: Dädalus-Riff, an harten, drehrunden Antipathiden-Ästen; Pola-Exp., Sept. 1897 (mehrere Stücke).

Vorliegend mehrere Stücke einer *Polycarpa*-Art, die der *P. coccus* n. sp. und wahrscheinlich auch der *P. miniata* (Sluiter) sehr nahe steht.

Diagnose: Körper elliptisch-polsterförmig, bis 5 *mm* lang.

Äußere Siphonen nicht ausgebildet.

Körperoberfläche fast glatt, doch noch etwas duff.

Zellulosemantel mit zahlreichen unregelmäßig verteilten kleinen Blasenzellen.

Innenfläche der Siphonen ohne blasige Erhabenheiten?

Mundtentakel ca. 8.

Kiemensack mit 4 Falten jederseits, Falte I und III jederseits und Falte IV linkerseits stark erhaben, die übrigen wenig erhaben oder ganz flach.

Magen mit 9 (?) Längswülsten, die der Innenkörperseite schmäler und deutlicher, die der Kiemensackseite breit und undeutlich (ausgeebnet?).

Geschlechtsorgane: Gonadensäckchen sämtlich isoliert, annähernd kugelig, mit 1 Ovarium und 2 mit den spitzen Polen gemeinsam ausmündenden Hodenbläschen.

Beschreibung. Körpergestalt und Bodenständigkeit (Taf. I Fig. 16): Der Körper der Tiere ist elliptisch-polsterförmig bis gerundet brotlaibförmig, mit der ganzen Ventralseite oder einem Teil derselben den drehrunden Ästen einer Anthipathide aufgewachsen; er zeigt einen unregelmäßigen Anwachssaum.

---

[1] Hartmeyer, Ascid. Arktis, p. 215 (= *Stolonica aggregata*, Lac.-Duthiers & Delage, Cynthiad. Roscoff., p. 250, Taf. XIX).

Die Färbung ist hell gelblich- oder schieferig-grau.

Dimensionen: Die größten Stücke sind etwa 5 *mm* lang.

Die Körperoberfläche ist eben, fast glatt, aber noch etwas duff.

Die Körperöffnungen (Taf. I Fig. 16) sind unregelmäßig lochförmig; sie liegen ungefähr die halbe größte Körperlänge voneinander und ungefähr gleichweit von den Körperpolen entfernt. Äußere Siphonen sind nicht ausgebildet. Die Körperöffnungen liegen auf ganz flachem Grunde oder sind kaum merklich vorgetrieben.

Der Zellulosemantel ist dünn, aber undurchsichtig und zäh, etwas weichlich lederartig, im Schnitt weißlich. Er zeigt eine charakteristische Struktur. Seine Oberfläche ist im allgemeinen nicht korrodiert, sondern durch eine äußerste, im allgemeinen eine fast einfache Lage bildende dichte, geschlossene Schicht ziemlich großer und ziemlich unregelmäßig gestalteter blasiger Zellen gebildet. Die unter dieser Oberflächenschicht liegende Hauptmasse des Zellulosemantels ist faserig und enthält, besonders in den mehr äußeren Lagen, zahlreiche kleine Blasenzellen, die sich nach außen hin an die Oberflächenschicht anzuschließen scheinen, während sie nach innen zu kleiner und spärlicher werden. Die Verteilung dieser Blasenzellen ist jedoch sehr unregelmäßig. In manchen Teilen des Zellulosemantels treten sie sehr zurück. Die Folge dieser Strukturverhältnisse ist es vielleicht, daß der Zellulosemantel etwas weichlich ist.

An der Innenfläche der Siphonen habe ich blasige Erhabenheiten bezw. Felder, wie sie bei den nahe verwandten *P. coccus* und *P. miniata* (Sluit.) (l. c. 1905, Taf. I Fig. 5a) vorkommen, nicht erkennen können. Vielleicht spielt für die Erkennbarkeit dieser Bildungen die Art der Konservierung eine Rolle.

Mundtentakel fanden sich bei einem näher untersuchten Individuum nur 8 von etwas verschiedener Länge und ohne regelmäßige Anordnung nach verschiedener Größe.

Das Flimmerorgan ist ein dick polsterförmiger ovaler Körper mit einfachem Längsschlitz. Kloakalvelum und Kloakaltentakel sind deutlich ausgebildet.

Der Kiemensack trägt jederseits 4 Falten. Die Falten I und III jederseits sind stark erhaben, IV links stark erhaben, rechts fast flach, II links sehr wenig erhaben, rechts ganz flach. Ein Querschnitt durch die Mitte eines Kiemensackes ergab folgendes Schema der Längsgefäßverteilung:

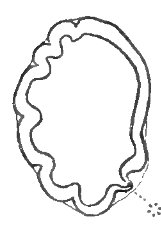
Rechts: D. 0 (11) 2 (6) 1 (15) 3 (5) 2 E.

Links: D. 1 (10) 2 (7) 1 (11) 2 (9) 1 E.

Die Quergefäße sind annähernd gleich stark. Parastigmatische Quergefäße sind nicht vorhanden. Die Zahl der Kiemenspalten in einer Masche ist nur gering.

Der Darm bildet eine fast kreisförmige Schleife mit abgebogenen End-Ästen. Der Magen (Textfig. 17) besitzt ungefähr 9 mäßig scharf ausgeprägte Längswülste, die aber sehr ungleich über den Umfang des Magens verteilt und verschieden stark gewölbt sind. Die an der dem Kiemensack zugewendeten Seite oberhalb der Magennaht gelegenen Magenwülste erscheinen fast ganz ausgeglättet. Als Folge davon erscheint diese Seite des Magens gedehnt, und die sich daran anschließenden Wülste sind mehr nach oben bezw. nach der anderen Seite des Magens hingedrängt, so daß man von der Außenseite 6 Wülste deutlich sieht, während der Magen von der Kiemensackseite gesehen, nur undeutlich und sehr weitläufig gewulstet erscheint. Ich halte es nicht für ausgeschlossen, daß hier lediglich Kontraktionsverhältnisse vorliegen. Doch ist zu bemerken, daß die (allerdings gemeinsam konservierten) näher untersuchten Stücke vollständig miteinander übereinstimmen.

Textfig. 17.



Querschnitt durch den Magen von *Polycarpa steindachneri* n. sp., schematisch; 27/1. * Magennaht, bzw. Nahtwulst.

Die Geschlechtsorgane, jederseits mehrere (ca. 9?) zwittrige Geschlechtssäckchen, stehen an der Ventralseite. Die Geschlechtssäckchen sind annähernd kugelig, bei allen näher untersuchten Stücken sämtlich isoliert, stets mit 1 Ovarium und 2 birnförmigen, mit den spitzen Polen konvergierenden und durch einen gemeinsamen warzenförmigen Samenleiter ausmündenden Hodenbläschen versehen. Eingeschlechtliche Geschlechtssäckchen sind nicht aufgefunden worden.

Erörterung. *P. steindachneri* steht der *P. coccus* n. sp. von Gimsah-Bucht (siehe oben!) und der *P. miniata* (Sluit.)[1] vom Golf von Aden sehr nahe. Ich glaubte anfangs, diese Arten mit einander vereinen zu sollen, kam aber bei näherer Vergleichung von dieser Meinung zurück.

P. miniata ähnelt den neuen Arten vom Roten Meer nicht nur im Habitus, sondern auch in Einzelheiten der inneren Organisation auffallend, so besonders in der Art der Kiemensackfalten (Falten II und IV sehr klein, fast rudimentär). Diesen Übereinstimmungen stehen aber Unterschiede gegenüber, die ich als bedeutsam ansehen muß. Der bedeutendste Unterschied liegt wohl in der Gestaltung des Magens. Derselbe soll bei *P. miniata* 12 Längsfalten besitzen, von denen in der Figur (l. c. Taf. I Fig. 4b) 9 in einer Seitenaufsicht sichtbar sind, die also sehr verschieden breit (an der in Fig. 4b nicht zur Anschauung kommenden Seite viel breiter als an der sichtbaren) sein müssen, während *P. coccus* und *P. steindachneri* nur 9 Falten (1 Falte schmal und scharf gesondert) besitzen, die sich entweder (bei *P. coccus)* ziemlich gleichmäßig auf den ganzen Umkreis verteilen, oder von denen doch höchstens nur 6 in einer Seitenlage sichtbar sind *(P. steindachneri).* Die Zahl der Längsgefäße scheint bei *P. miniata* etwas geringer zu sein als bei den Roten Meeres-Arten. Einen bedeutsamen Unterschied bietet vielleicht auch die Innenfläche des Ingestionssiphos. Bei *P. miniata* (l. c. Taf. 1 Fig. 4a) finden sich nur vor den 8 größeren Tentakeln blasige Erhabenheiten, die gleichschenklig dreiseitig, dabei ziemlich spitzwinklig sind und fast bis ans Ende des Siphos reichen. Bei *P. coccus* sind sie dagegen fast kreisrund und reichen kaum über die Mitte des Siphos hinaus; auch sind zwischen den größeren Erhabenheiten, nämlich auch vor den kleineren Tentakeln, kleinere Erhabenheitsfelder, so daß ihre Zahl trotz geringerer Tentakelzahl größer ist (11) als bei *P. miniata* (8). Bei *P. steindachneri* scheinen diese polsterförmigen Feldchen zu fehlen. Vielleicht ist kein besonderer systematischer Wert auf diese Organe zu legen. Vielleicht ist ihr mehr oder weniger deutliches Auftreten von Konservierungsverhältnissen abhängig. In einer Nachschrift (l. c. p. 12) gibt Sluiter als Unterschied von *Monandrocarpa tritonis* Mich. an, daß bei seiner Art Kloakaltentakel fehlen. Darin würde, falls es zuträfe, diese Art auch von *P. coccus* und *P. steindachneri* unterschieden sein. Die Kloakaltentakel sind aber bei diesen kleinen Tieren so winzig und so schwer zu erkennen, daß ich eher glaube annehmen zu sollen, daß Sluiter sie übersehen habe. Bei der anscheinend nahen Verwandtschaft zwischen den hier in Vergleich gezogenen Arten glaube ich nicht einen so wesentlichen Unterschied annehmen zu dürfen. Bedauerlich ist es, daß Sluiter nichts über den feineren Bau der Geschlechtssäckchen, zumal über die Zahl der in einem Geschlechtssäckchen enthaltenen Hodenbläschen, aussagt. Die Struktur dieser Organe würde erweisen, ob sich *P. miniata* enger an *P. coccus* und *P. steindachneri* oder an *P. tritonis* anschlösse.

Auch mit der erwähnten *P. tritonis* (Mich.)[2] von Kapland hat *P. steindachneri* wie *P. coccus* manches Übereinstimmende. *P. tritonis* ist aber oberflächlich inkrustiert, hat 11 Magenwülste und nur 1 Hodenbläschen in einem Geschlechtssäckchen.

---

[1] *Styela miniata* Sluiter, Tunic. Gravier Tadjourah; in: Mém. Soc. zool. Fr. 1895, p. 11, Taf. I Fig. 4—4c.

[2] *Monandrocarpa tritonis* Michaelsen, D. stolidobr. Ascid. deutsch. Tiefsee-Exp., p. 240, Taf. X Fig. 2, Taf. VIII Fig. 55—57.

Gen. Eusynstyela Mich.

Eusynstyela hartmeyeri Mich.

(Textfig. 18.)

? 1902 *Michaelsenia tincta* Van Name, Ascid. Bermuda Isl., p. 381, Taf. IV Fig. 61, 63, Taf. IX Fig. 109.

? 1904 *Eusynstyela tincta*, Michaelsen, Rev. compos. Styelid. Polyzoin., p. 37.

1904 *Eusynstyela hartmeyeri* Michaelsen, ebendas., p. 38, Taf. I Fig. 1; p. 114.

? 1904 *Gynandrocarpa latericius* Sluiter, Tunic. Siboga-Exp. I, p. 94, Taf. XV Fig. 8—11.

1906 *Gynandrocarpa (Eusynstyela) imthurni* Herdman, Tunic., in: Rep. Pearl Oyster Fish., p. 330, Taf. VII Fig. 1—9, Taf. IX Fig. 4.

1909 *Eusynstyela hartmeyeri* + *Eu. imthurni* + ? *Eu. tincta* + ? *Polyandrocarpa latericius*, Hartmeyer, in: Bronn, Kl. Ordn. Tierr., p. 1370.

1918 *Eusynstyela hartmeyeri*, Michaelsen, Ptychobr. Ascid. westl. Indisch. Oz., p. 38.

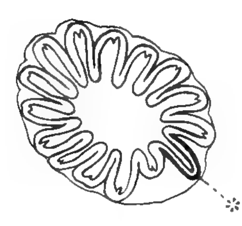
Fundangabe: Gimsah-Bucht; R. Hartmeyer, Jän.—Febr. 1902.

Weitere Verbreitung: Moçambique (nach Michaelsen), Ceylon (nach Herdman), ? Bermuda-Inseln (nach Van Name), ? Insel Sarassa im Malayischen Archipel (nach Sluiter).

Erörterung. Ich habe das Material aus dem Roten Meer einer Nachuntersuchung unterzogen und kam dabei zu dem Schluß, daß *Eu. imthurni* Herdm. und vielleicht auch der Typus der Gattung, *Eu. tincta* (Van Name), mit *Eu. hartmeyeri* identisch sind. Eine dieser Art oder diesen beiden Arten nahestehende Form, die meiner Ansicht nach in die Gattung *Eusynstyela* gestellt werden muß — Hartmeyer stellt sie in die Gattung *Polyandrocarpa* (l. c. 1909, p. 1370) —, ist *Gynandocarpa latericius* Sluit. von der Insel Sarassa im Malayischen Archipel.

Was zunächst *Eu. tincta* anbetrifft, so soll sich diese Art nach meinen früheren Ausführungen (Bestimmungstabelle der Arten, l. c. 1904, p. 37) in erster Linie durch das Auftreten der Gonaden an beiden Körperseiten von *Eu. hartmeyeri,* bei der sie sich angeblich nur linksseitig finden, unterscheiden. Nun habe ich bei einer neuerdings angefertigten Schnittserie durch ein Individuum der *Eu. hartmeyeri* auch rechtsseitig 2 Geschlechtssäckchen gefunden. Es liegt hier also ein variables Verhalten vor. Die Regel ist zweifellos, daß die Zahl der Geschlechtssäckchen rechts geringer ist als links (z. B. bei *Eu. imthurni* nach Herdman links 12, rechts 6). Das vollständige Fehlen der Geschlechtssäckchen an der rechten Körperseite ist nur ein individuelles Extrem der variablen Minderzahl. Dieser Grund der Scheidung zwischen *Eu. tincta* und *Eu. hartmeyeri* ist also hinfällig. Ein angeblich bedeutsamer Unterschied soll auch in der Bildung des Magens liegen, und zwar in der Zahl der Magenwülste bezw. der Magenfalten. Der Magen (Textfig. 18; vergleiche auch die allgemeine Erörterung, oben, S. 65!) zeigt bei beiden Arten eine gleiche Struktur, insofern die Drüsenstreifen am Grunde der Wulsthöhlungen ungemein scharf ausgeprägt sind und als scharfe, fast saumartige Kanten, wie Zwischenfalten, in die Wulsthöhlungen hineinragen. Auch äußerlich sind diese Drüsenstreifen als Zwischenfurchen auf der First der Magenwülste meist deutlich markiert. Die Höhlung des Nahtwulstes unterscheidet sich von den Höhlungen der eigentlichen Wülste scharf durch das Fehlen des Drüsenstreifens, wie auch der (äußere) Nahtwulst sich von den eigentlichen Magenwülsten durch das Fehlen einer Zwischenfurche unterscheidet. *Eu. tincta* nun soll nach meiner Angabe — Van Name spricht nur von »many longitudinal folds« — 13 Falten am Magen besitzen.

Textfig. 18.



Querschnitt durch den Magen von *Eusynstyela hartmeyeri* Mich.; schematisch; 80/1. * Magennaht, bzw. Nahtwulst.

(l. c. 1904, p. 37), also außer einem Nahtwulst 12 eigentliche Magenwülste, gegen »ca. 18« Falten, bezw. 17 eigentliche Magenwülste und 1 Nahtwulst bei *Eu. hartmeyeri* (l. c. 1904, p. 41). Schon meine Beschränkung durch »ca.«, sowie die Angabe über die Gabelung einzelner Falten deutete auf eine gewisse Variabilität in der Zahl der Magenfalten und -wülste hin. Meine neuere genaue Untersuchung an Schnittserien durch verschiedene Magen des Originalmaterials von *Eu. hartmeyeri* ergab, daß diese Variabilität — vielleicht handelt es sich zum Teil auch nur um verschiedene Wachstumsstadien — viel beträchtlicher ist, als ich früher annahm, fand ich doch bei verschiedenen Individuen der einen Kolonie 17 + 1, 16 + 1, 14 + 1 und 13 + 1 Magenwülste, in einem Falle also nur einen einzigen Magenwulst mehr als bei dem untersuchten Magen des Originalstückes von *Eu. tincta.* Es liegt auf der Hand, daß in dieser Hinsicht ein bedeutsamer Unterschied zwischen den beiden Formen nicht vorhanden ist. Es bleibt demnach als einziger anscheinend wesentlicher Unterschied zwischen *Eu. tincta* und *Eu. hartmeyeri* der in der Zahl der Längsgefäße auf den Kiemensackfalten. Bei *Eu. tincta* sollen nach Van Name »about three« Längsgefäße auf jeder Falte und »usually one« auf jedem Faltenzwischenraume stehen (l. c. 1902, p. 381, Taf. LIV Fig. 63), während bei *Eu. hartmeyeri* nach meiner Zählung (l. c. 1904, p. 40) auf den Falten 5—11 Längsgefäße stehen und 0 oder 1 auf den Faltenzwischenräumen (bei *Eu. imthurni* nach Herdman — l. c. 1906, p. 330, Taf. VII Fig. 4 — auf den Falten 4—8 [nach der Abbildung 5—9 ?], auf den Faltenzwischenräumen 1 oder 2). Hier liegt also anscheinend ein recht beträchtlicher Unterschied zwischen *Eu. tincta* und *Eu. hartmeyeri* (einschließlich *Eu. imthurni*) vor: Bei *Eu. tincta* im ganzen ca. 17 Längsgefäße auf einer Kiemensack-Seite, gegen 32, bezw. 33 bei *Eu. hartmeyeri* und 27 (nach Abbildung 31 ?) bei *Eu. imthurni.* Ich halte es nicht für ganz ausgeschlossen, daß Van Name zur Feststellung der Kiemensackverhältnisse zufällig ein noch nicht ganz ausgewachsenes Individuum benutzt habe. Sollte sich herausstellen, daß bei voller Ausbildung eine höhere Zahl von Längsgefäßen am Kiemensack der *Eu. tincta* auftritt, so müßte eine Verschmelzung der *Eu. hartmeyeri* mit *Eu. tincta* vorgenommen werden, wobei der *Eu. tincta* die Priorität zukäme.

Eu. imthurni Herdm. halte ich für durchaus identisch mit *Eu. hartmeyeri.* Der einzige fragliche Punkt liegt in der Gestaltung des Flimmerorgans, das nach Herdman (l. c. 1906, p. 331, Taf. VII Fig. 5 und 6) »horse-shoe-shaped« sein soll. Ein hufeisenförmiger Flimmergrubenspalt, wie er für manche solitäre Styeliden charakteristisch ist, wurde bei kompositen Styeliden oder Polyzoinen sehr selten gefunden. Hier, bei *Eu. imthurni,* handelt es sich aber meiner Auffassung nach auch nicht um einen hufeisenförmigen »Flimmergruben-Spalt«, sondern, wie ja auch Herdman sagt, um ein hufeisenförmiges »Flimmerorgan« (»Dorsal Tubercle«). Als Flimmergrubenspalt ist meiner Auffassung nach — und das widerspricht auch nicht der Angabe und den Abbildungen Herdmans — der mediane einfache Raum zwischen den beiden Hufeisen-Ästen des Flimmerorgans anzusehen. Der Flimmergrubenspalt ist also als ein einfacher, allerdings bei dem Untersuchungsobjekt weit klaffender und vorn anscheinend nicht wallförmig begrenzter Längsspalt anzusehen, der sich nur durch sein weites Klaffen, also eine Kontraktions- bezw. eine Erektionserscheinung, von der spaltförmigen Flimmergrubenöffnung meines Materials von *Eu. hartmeyeri* unterscheidet. *Eu. imthurni* soll nach Herdman (l. c. 1906, p. 339, Taf. VII Fig. 7) »some convoluted thread-like outgrowths from the mantle hanging into the peribranchial space« besitzen und in dieser Hinsicht mit *Gynandrocarpa latericius* Sluit. (l. c. 1904, p. 95, Taf. XV Fig. 9) übereinstimmen. Ich habe diese Organe auch bei meinem Material von *Eu. hartmeyeri* gefunden. Es sind die bei dieser mit verhältnismäßig kleinem Kiemensack und sehr weitem Peribranchialraum ausgestatteten Art auffallend langen und dünnen Trabekel, durch die der Kiemensack »in situ« am Innenkörper im Peribranchialraum aufgehängt ist, und die bei der Herausnahme des Kiemensackes z. T. vom Kiemensack abreißen, während sie am Innenkörper haften bleiben und bei Lösung der straffen »in situ«-Spannung mehr oder weniger regelmäßig spiralig oder wellig zusammenschnirren. Auch die geographische Verbreitung — Rotes Meer, Ceylon, Moçambique — steht mit der Verschmelzung von *Eu. hartmeyeri* und *Eu. imthurni* in Harmonie.

Es bleibt noch das Verhältnis dieser Art zu *Gynandrocarpa latericius* Sluit. (l. c. 1906) zu besprechen. Hartmeyer (l. c. 1909, p. 1370) stellt *G. latericius*, zweifellos wegen der manchmal die Zweizahl überschreitenden Zahl der Hodenbläschen eines Geschlechtssäckchens, in die Gattung *Polyandrocarpa*. Bei der offenbar nahen Verwandtschaft mit *Eu. hartmeyeri* ist es meiner Ansicht nach besser, diese Art in der Gattung *Eusynstyela* unterzubringen; kann ich mich doch nicht einmal ganz des Verdachtes erwehren, daß sie mit *Eu. hartmeyeri* identisch sei. *Eu. latericia* soll allerdings 2 oder 3 »Testesbläschen« in je einem Geschlechtssäckchen enthalten (l. c. 1904, p. 95, Taf. XV Fig. 9); aber die Dreizahl der Hodenbläschen mag eine Abnormität sein, wie sie auch bei anderen Styeliden mit in der Regel 2 Hodenbläschen in einem Geschlechtssäckchen auftritt (vgl. oben, S. 92, *Polycarpa coccus* n. sp.); dafür spricht der Umstand, daß in der zitierten Abbildung eines Geschlechtssäckchens mit 3 Hodenbläschen das eine, mittlere Hodenbläschen viel kleiner als die übrigen, fast rudimentär, erscheint. Vielleicht liegt auch ein Irrtum Sluiter's vor, der eine mit Dottermassen ausgestattete größere Eizelle für ein Hodenbläschen angesehen haben mag. Jedenfalls glaube ich, auf diese anscheinende Besonderheit der *Eu. latericia* kein Gewicht legen zu sollen. Die eigentümliche Bildung an der Innenfläche des Ingestionssiphos (l. c. 1906, Taf. XV Fig. 6) glaube ich auch, wenngleich weniger deutlich, bei meinem Material von *Eu. hartmeyeri* erkannt zu haben, wie sie sich auch mit der Angabe und Abbildung Herdmans von *Eu. imthurni* (l. c. 1906, p. 331, Taf. VII Fig. 5) gut vereinen läßt. Auch in der Bildung des Kiemensackes besteht meiner Ansicht nach kein wesentlicher Unterschied zwischen *Eu. latericia* und *Eu. hartmeyeri*. Die auffallende Verbreiterung der Kiemenspalten im ventralen Teil des Kiemensackes halte ich für eine im übrigen belanglose Dehnungserscheinung. Als vielleicht bedeutsame Besonderheit der *Eu. latericia* bleibt die Gestaltung der Körperöffnungen zu besprechen. Bei *Eu. tincta* zeigen nach Van Name die Körperöffnungen »their square or four-lobed shape« nicht, wenn sie zusammengezogen sind, wohl aber, wenn der Weichkörper aus dem Mantel herausgelöst ist. Bei meinem Material von *Eu. hartmeyeri* ist das gleiche der Fall. Äußerlich ist die Vierlappigkeit nicht oder nur undeutlich ausgeprägt, bei Betrachtung der Öffnungen von der Innenseite aber gut erkennbar. Bei *Eu. latericia* sollen dagegen die Körperöffnungen länglich rund, Lappen nicht zu unterscheiden sein und, was zu meinen und Van Name's Befunden an *Eu. hartmeyeri* und *Eu. tincta* im Gegensatz steht, auch von der Innenseite kreisförmig, ohne Lappenbildung, erscheinen. Immerhin mag auch diesem Unterschied eine starke Kontraktions- bezw. Dehnungsverschiedenheit zugrunde liegen. Als sonstiger etwa noch zu bemerkender Unterschied ist noch die Struktur der Körperoberfläche zu erwähnen. Bei *Eu. tincta* soll sie nach Van Name (l. c. 1902, p. 381) »finely wrinkled and uneven«, bei *Eu. hartmeyeri* nach Michaelsen (l. c. 1904, p. 39) »duff, stellenweise schwach gerunzelt«, bei *Eu. latericia* nach Sluiter (l. c. 1904, p. 94) »überall glatt« sein. Jedenfalls bleibt die Zusammengehörigkeit von *Eu. latericia* und *Eu. hartmeyeri* noch zweifelhaft.

Wie *Gynandrocarpa latericius*, so stellt Hartmeyer (l. c. 1909, p. 1370) auch *G. maxima* Sluit. (l. c. 1904, p. 93, Taf. XV Fig. 5—7) von der Insel Salibabu im Malayischen Archipel zur Gattung *Polyandrocarpa*. Leider sagt Sluiter nichts über die feinere Gestaltung der hermaphroditischen Geschlechtssäckchen aus, und auch aus der Abbildung (l. c. Fig. 5) ist die Zahl der Hodenbläschen in einem Geschlechtssäckchen nicht zu ersehen. Der Gestalt der Geschlechtssäckchen nach will es mir scheinen, als ob die Zahl nicht so groß sein könne; sind doch die Geschlechtssäckchen typischer *Polyandrocarpa*-Arten mit einer größeren Zahl von Hodenbläschen im allgemeinen länglicher, mehr wurstförmig. Vielleicht haben wir es auch hier mit einer *Eusynstyela* zu tun. Bemerkenswert erscheint mir bei dieser Art die tatsächlich U-förmige oder hufeisenförmige Gestalt des Flimmergrubenspaltes.

Gen. Symplegma Herdm.

1886 *Symplegma* Herdman, Tunic. Challenger II, p. 144.
» *Synstyela* (part.), Herdman, ebendas., p. 342.
1900 *Gynandrocarpa* (part.), Michaelsen, D. holosom. Ascid. magalh.-südgeorg. Geb., p. 24, 30.
1902 *Symplegma,* Van Name, Ascid. Bermuda Isl., p. 378.
» *Diandrocarpa,* Van Name, ebendas., p. 382.
1904 *Diandrocarpa,* Michaelsen, Rev. compos. Styelid. Polyzoin., p. 42.
1904 *Gynandrocarpa* (part.), Sluiter, Tunic. Siboga-Exp. I, p. 91.
1909 *Diandrocarpa,* Hartmeyer, Tunic., in: Bronn, Kl. Ordn. Tierr., p. 1370.
1918 *Symplegma,* Michaelsen, Ptychobr. Diktyobr. Ascid. westl. Indisch. Oz., p. 39.

Die neuerdings ausgeführte genauere Untersuchung des reichen Materials der als *Diandrocarpa bråkenhielmi* f. *typica* beschriebenen Ascidie hatte als Ergebnis die Erkenntnis, daß die Gattung *Diandrocarpa* Van Name mit der älteren Gattung *Symplegma* Herdman identisch ist. Der Typus bezw. die einzige Art der Gattung *Symplegma, S. viride,* war nach einem sehr schlecht konservierten Material beschrieben worden. Trotz der lückenhaften Beschreibung ließ sich vermuten, daß *S. viride* eine Polyzoine, und zwar eine *Diandrocarpa* sei, und dann wohl auch identisch mit der einzigen von dem gleichen Fundgebiet, dem Flachwasser der Bermuda-Inseln, bekannten Art dieser Gattung. Dieser Vermutung gab ich Ausdruck, indem ich *Symplegma viride* als sehr fragliches Synonym zu *Diandrocarpa botryllopsis* Van Name stellte (l. c. 1904, p. 43). Der anscheinend bedeutsamste Unterschied zwischen *Symplegma viride* und *Diandrocarpa botryllopsis* schien in der Gestaltung der Kolonie zu liegen. Während *D. botryllopsis* sowie nach Maßgabe der vorliegenden Beschreibungen auch alle anderen *Diandrocarpa*-Formen rein krustenförmige und einschichtige Kolonien bilden, ist die Kolonieform des *Symplegma viride* nach Herdman massig birnförmig. Die Nachuntersuchung der sehr zahlreichen, ein ziemlich großes Glas füllenden Kolonien der *Diandrocarpa bråkenhielmi* Mich. f. *typica* von Veracruz ließ mich nun unter zahlreichen rein krustenförmigen Kolonien eine abweichend gebildete Kolonie auffinden, die in ihrer distalen Hälfte der Gestaltung nach ganz dem *Symplegma viride* entspricht. Es ist eine Kolonie, die zur Grundlage die Schale einer (beim Fange noch lebenden) *Avicula* mit aufgewachsenen, sparrig stengeligen Sertularien hat. Im proximalen Teil, im Bereich der *Avicula*-Schale, ist die Kolonie rein krustenförmig. Distal zieht sich die Kolonie über den Rand der *Avicula*-Schale hinaus über die Sertularide hin als unregelmäßig gelapptes, stellenweise ziemlich breites, dünnes Doppelblatt, das an beiden Seiten die Außenflächen von gedrängt stehenden Personen zeigt, während einzelne dünne Sertulariden-Äste, die bei weitem nicht die ganze Breite der Doppelschicht einnehmen, den allgemeinen Zellulosemantel zwischen den beiden Personenschichten durchsetzen. Die Kolonie ist aber stellenweise über die Sertularien-Äste hinausgewachsen und bildet dabei nun einige geradezu massige, zylindrische Gebilde, deren Oberfläche von einer einfachen Personenschicht besetzt ist, während die Achsenpartie von einer recht beträchtlichen Masse des von Blutgefäßen durchzogenen allgemeinen Zellulosemantels eingenommen wird. Eine Schnittserie durch die distale Hälfte eines solchen massigen Teiles der Kolonie zeigt, daß hier jegliche Anwachsstütze fehlt, daß es sich also nicht etwa um eine dem Wesen nach krustenförmige Scheinmassengestalt handle. Nur im basalen Teil finden sich noch einige spärliche Sertularidenzweige als Stützmaterial. Diese interessante Kolonie zeigt also eine Kombination der reinen Krustenform, wie sie für *Diandrocarpa* charakteristisch sein sollte, mit der Massenform, wie sie das Original von *Symplegma viride* aufweist, und zeigt wieder einmal, von welch geringfügiger systematischer Bedeutung die Gestaltung der Kolonie bei den zusammengesetzten Ascidien sein kann. In diesem Falle ist die Kolonieform offenbar durchaus von dem zur Verfügung stehenden Anwachsmaterial abhängig. Auf breitem, flächenhaftem Untergrund wird die Kolonie krustenförmig, an verästelt dünnstengeligem Anwachsmaterial, wie es auch der Originalkolonie von *Symplegma viride* zur Verfügung stand, doppelschichtig und, über das Anwachsmaterial hinauswachsend, massig. Mit diesem Nachweis wird der einzige anscheinend

wesentliche Grund für die Trennung der Gattungen *Symplegma* und *Diandrocarpa* bezw. der Arten *S. viride* Herdm. und *D. botryllopsis* Van Name hinfällig. *D. botryllopsis* ist die einzige Art dieser Gattung in dem sehr reichen Material von den Bermuda-Inseln, das Van Name bei seinen Untersuchungen zur Verfügung stand; *Symplegma viride* war, abgesehen von dem zweifelhaften *Didemnum inerme*, die einzige der früher von den Bermuda-Inseln gemeldeten Ascidien-Arten, die Van Name in dieser Sammlung vermißte (l. c. 1902, p. 326, 327). Es scheint mir die artliche Identität dieser beiden nach dem Nachweis der Identität der entsprechenden Gattungen nicht zweifelhaft. Im übrigen sind die Synonymieverhältnisse weiter unten, unter dieser auch im Roten Meer vorkommenden Art zu erörtern. Die von Van Name (l. c. 1902, p. 382) unter *Diandrocarpa* aufgestellte und von mir (l. c. 1904, p. 42) unter geringfügigen Änderungen übernommene Diagnose ist nun zwecks Aufnahme der Gattung *Symplegma*, deren Namen die Gattung der Priorität wegen annehmen muß, zu erweitern, insofern die die Kolonieform betreffende Bedingung etwas freier zu fassen ist. Ich glaube immerhin, diese Bedingung noch in der ein wenig freieren Form: »Kolonie in der Regel krustenförmig« beibehalten zu dürfen.

Einer noch weiteren Fassung bedurfte die Diagnose, als Hartmeyer (l. c. 1909, p. 1370) verschiedene malayische *Gynandrocarpa*-Arten Sluiter's in die Gattung aufnahm, Arten, die mehr als 1 hermaphroditischen Geschlechtsapparat an jeder Körperseite besitzen. Die Einstellung dieser Arten, *G. nigricans, G. quadricorniculis, G. purpurea* und *G. similis*[1], in die Gattung *Diandrocarpa* bezw. *Symplegma* halte ich für durchaus gerechtfertigt. Mindestens eine dieser Arten, *G. similis*, ist meiner Ansicht nach sogar mit dem weit verbreiteten *Symplegma viride* Herdm. (s. l.) (siehe unten!) identisch. Nur von dieser Art meldet Sluiter das Vorkommen je eines einzigen Geschlechtsorgans an jeder Körperseite, von *G. purpurea* meldet er »einige wenige«, von *G. nigricans* und *G. quadricorniculis* genauer »jederseits als einige wenige, 3 oder 4« bezw. »jederseits etwa 3 oder 4«. Beruht Hartmeyer's Angabe »in einem Falle 3« (l. c. 1909, p. 1370) auf einer Nachprüfung der Sluiter'schen Originale, und bedeutet sie eine Korrektur der Sluiter'schen Angaben? Ganz genau sind diese Angaben offenbar nicht, denn bei *G. nigricans*, die doch jederseits 3 oder 4 Geschlechtssäckchen aufweisen soll, sind in Fig. 3 der Taf. XV (l. c.) rechterseits nur 2 abgebildet. Es ist übrigens zu bedenken, daß die Anzahl der Gonaden bei *Diandrocarpa* leicht verkannt werden kann. Da vielfach die Hodenbläschen durch einen sehr langen, feinen, leicht übersehbaren Ausführgang miteinander bezw. mit dem zwischen ihnen liegenden Ovarium verbunden sind, so können sie (zumal wenn sie tief eingeschnitten und gelappt sind, wie es in der Regel bei *Diandrocarpa* der Fall ist) leicht für gesonderte Gonaden angesehen werden, deren Zahl demnach zu hoch gemessen wäre. Nur bei *G. similis* beschreibt Sluiter einen Geschlechtsapparat, wie er für *Symplegma viride* charakteristisch ist, mit »2 kleinen gesonderten Hodenbläschen seitlich von dem Ovarium«. Die Angabe über *G. purpurea* ist so unscharf, daß wir wohl annehmen dürfen, es habe Sluiter kein ganz scharfes Bild dieser an schlecht konserviertem Material nicht immer genau erkennbaren Organe vorgelegen. Diese Art soll sich außerdem durch den Besitz von 4 kurzen Blindsäcken des Darmes an dem Übergang vom Ösophagus in den Magen (Cardia-Blindsäckchen?) auszeichnen. *G. nigricans* und *G. quadricorniculis* weisen im übrigen, abgesehen von den Gonadencharakteren, keine Besonderheiten auf, die sie scharf von *Symplegma viride* (s. l.) unterschieden. Die starke Pigmentierung bei *G. nigricans* ist bei diesen in der Färbung so stark variierenden Formen ganz bedeutungslos, und auch die geringe Zahl der Mundtentakel bei *G. quadricorniculis* mag recht belanglos sein; liegt mir doch ein echtes *S. viride*-Individuum aus dem Roten Meer vor, bei dem außer 4 deutlich fadenförmigen Tentakeln nur 4 undeutlich warzenförmige vorhanden sind, die kaum die Bezeichnung von Tentakeln verdienen.

---

[1] Sluiter, l. c. 1904, p. 91, Taf. XV Fig. 1—4; p. 95, Taf. XV Fig. 12, 13; p. 96, Taf. XV Fig. 14, 15; p. 97 Taf. XV Fig. 16, 17.

Die Diagnose der Gattung *Symplegma* mag folgenden Wortlaut erhalten:

Diagnose: Komposite Styelide. Kolonie in der Regel krustenförmig.
Kiemensack ohne Falten, jederseits mit 4 inneren Längsgefäßen.
Jederseits eine geringe Zahl (meist nur 1) zwittrige Geschlechtsapparate, in der Regel mit zweiteiliger Hode.

Typus: *Symplegma viride* Herdm.

Symplegma viride Herdm.

1886 *Symplegma viride* Herdman, Rep. Tunic. Challenger II, p. 144. Taf. XVIII Fig. 7—14.
» *Synstyela incrustans* (part. [Nr. *b*]), Herdman, ebendas., p. 342.
1891 *Symplegma viride,* Herdman, Rev. Class. Tunic., p. 606.
» *Synstyela incrustans* (part. [Mal.]), Herdman, ebendas., p. 637.
? 1895 *Synstyela incrustans,* Sluiter, Tunic., in: Semon, Zool. Forschungsr., p. 183.
[non 1897 *Synstyela monocarpa* Sluiter, Tunic. Süd-Afrika, p. 55.]
? 1900 *Synstyela michaelseni* (part.), Sluiter, Ber. Synstyela-Art, p. 110.
[non 1900 *Gynandrocarpa michaelseni,* Michaelsen, D. holosom. Ascid. magalh. südgeorg. Geb., p. 24, Textfig.]
1900 *Gynandrocarpa monocarpa,* Michaelsen, ebendas., p. 30, Taf. III Fig. 8.
1902 *Symplegma viride,* Van Name, Ascid. Bermuda Isl., p. 378, Taf. L Fig. 22.
» *Diandrocarpa botryllopsis* Van Name, ebendas., p. 383, Taf. LIV Fig. 68, Taf. LIX Fig. 120, 121, Taf. LX Fig. 123,
1904 *Diandrocarpa botryllopsis,* Michaelsen, Rev. compos. Styelid. Polyzoin., p. 43.
» *Diandrocarpa monocarpa* f. *typica,* Michaelsen, ebendas., p. 44.
» *Diandrocarpa monocarpa* var. *philippinensis* Michaelsen, ebendas., p. 48, Taf. I Fig. 5.
» *Diandrocarpa bråkenhielmi* f. *typica* Michaelsen. ebendas., p. 51.
» *Diandrocarpa bråkenhielmi* var. *stuhlmanni* Michaelsen, ebendas., p. 52, Taf. I Fig. 4.
1904 *Gynandrocarpa similis* Sluiter, Tunic. Siboga-Exp. I, p. 97, Taf. XV Fig. 16, 17.
1906 *Diandrocarpa bråkenhielmi* var. *ceylonica* Herdman, Tunic.; in: Rep. Pearl Oyster Fish., p. 331, Taf. VII Fig. 10—18.
1909 *Diandrocarpa botryllopsis* + *D. brakenhielmi* + *D. b. ceylonica* + *D. b. stuhlmanni* + *D. monocarpa* + *D. m. philippinensis* + *D. similis* + *Symplegma viride,* Hartmeyer, Tunic.; in: Bronn, Kl. Ordn. Tierr., p. 1371.
1914 *Diandrocarpa semoni* f. *typica* Michaelsen, Tunic.; in: Meeresfauna Westafrikas, p. 415.
» *Diandrocarpa semoni* var. *philippinensis,* Michaelsen, ebendas. p. 415.
1918 *Symplegma viride f. stuhlmanni,* Michaelsen, Ptychobr. Diktyobr. Ascid. westl. Indisch. Oz., p. 39.

Fundangaben: Suës, Flachwasser am Strande, an Spongien, Ascidien, Schneckenschalen und Steinen; E. Bannwarth, 1914 (f. *bråkenhielmi* und f. *stuhlmanni*).

Tor, an Korallen; Hemprich und Ehrenberg (f. ? *stuhlmanni*).

Massaua, an Korallen; Pola-Ep., 30. Dez. 1897 (f. ? *stuhlmanni*).

Weitere Verbreitung: Deutsch-Ostafrika, Daressalam (nach Michaelsen) [f. *stuhlmanni*]; Madagaskar (nach Michaelsen) [f. *stuhlmanni*]; Ceylon, Periga-Paar und Cheval-Paar (nach Herdman) [f. *philippinensis*]; Malayischer Archipel, Sunda-See, 8° 23·5′S., 119° 4·6′O. und Makassar-Straße, 3° 27′S., 117° 36′O (nach Sluiter) [f. *philippinensis*]; Philippinen, Samboango (nach Herdman) [f. *philippinensis*]; Torres-Straße, Thursday-Insel (nach Sluiter [f. *bråkenhielmi*]; Golf von Mexiko, Veracruz (nach Michaelsen) [f. *bråkenhielmi*]; Bermuda-Inseln (nach Herdman und Van Name) [f. *typica*].

Erörterung. Bevor ich auf die Synonymieverhältnisse dieser weitverbreiteten und in manchen Hinsichten variablen Art eingehe, muß ich noch einmal auf die Verwechslung der Sluiter'schen Materialien von Seapoint (Kapland) und von der Thursday-Insel (Torres-Straße) bezw. der *Chorizocarpa-* und der *Symplegma- (Diandrocarpa-)* Form zurückkommen. Im Jahre 1895 meldete Sluiter (l. c. 1895 p. 183) als *Synstyela incrustans* Herdm. eine Polyzoine von der Thursday-Insel, die nach den spärlichen Angaben, zumal nach der Inbezugsetzung zur Philippinen-Varietät der *S. incrustans* (später von mir als *Diandrocarpa (-Symplegma)* nachgewiesen), ein *Symplegma* sein kann. Im Jahre 1897 stellte dann Sluiter als *Synstyela monocarpa* eine Polyzoinen-Art von Sea-Point im Kaplande auf,

deren Beschreibung anscheinend nicht ganz vollständig (Tentakel-Verhältnisse?) zu einer kapländischen *Chorizocarpa* paßt, die von Hartmeyer 1912[1] untersucht, mit *Distomus elegans* Qu. & Gaim. von der Tafel-Bay identifiziert und demnach als *Chorizocarpa elegans* (Qu. & Gaim.) bezeichnet wurde. Später fand ich die gleiche *Chorizocarpa*-Art bei Lüderitzbucht in Deutsch-Südwestafrika und konnte zugleich in der Tentakelbildung eine Variabilität nachweisen, die auch die anscheinende Sonderbildung bei der Sluiter'schen *Synstyela monocarpa* von Sea Point anzureihen gestattet. Es ergibt sich also, daß Sluiter's *Synstyela monocarpa* von Sea Point ein vollständiges Synonym zu *Chorizocarpa elegans* (Qu. & Gaim.) ist: Im Jahre 1900 nun sandte mir Sluiter ein Bruchstück, angeblich von der Originalkolonie der *Synstyela incrustans* von der Thursday-Insel. Dieses Stück, von mir 1904 (l. c. p. 108, Taf. II Fig. 27, 28) als *Chorizocarpa Michaelseni* (Sluit.) beschrieben, erwies sich als eine *Chorizocarpa elegans*. Im Jahre 1904 sandte mir Sluiter ein anderes Bruchstück, angeblich eine Originalkolonie der *Synstyela monocarpa* von Sea-Point. Dieses Stück, von mir 1904 (l. c. p. 44) als *Diandrocarpa monocarpa* (Sluit.) f. *typica* beschrieben, erwies sich später als ein *Symplegma viride* Herdm. Soweit die hier geschilderten Tatsachen in Betracht gezogen werden, ließe sich die Sache durch eine einfache Materialverwechslung, *Chorizocarpa* vom Kaplande mit *Symplegma (Diandrocarpa)* von der Thursday-Insel vertauscht, erklären. Diese Verwechslung müßte zwischen den Jahren 1897 und 1900 nach der Veröffentlichung von *Synstyela monocarpa* (1897) und vor der Versendung an mich (1900 und 1904) vor sich gegangen sein. Es tritt aber noch ein verwirrender Umstand hinzu. Auf meine briefliche Mitteilung, daß das übersandte Material, angeblich von der Thursday-Insel, keine *Synstyela incrustans* Herdm. sei, beschrieb Sluiter nach zurückbehaltenem Material die angeblich von der Thursday-Insel stammende Form noch im Jahre 1910 als *Synstyela michaelseni* n. sp.[2] Diese Beschreibung aber deckt sich nicht mit meinen Befunden an angeblich einem anderen Bruchstück der gleichen Kolonie (nach der Originalangabe ist nur eine Kolonie [l. c. 1895, p. 183: »Das . . . erbeutete Exemplar« bezw. »die mir vorliegende Kolonie«] bei der Thursday-Insel gesammelt worden), d. h. nicht mit der jetzt gut bekannten *Chorizocarpa elegans*, ebensowenig aber mit denen von dem jetzt ebenfalls genügend geklärten *Symplegma viride (Diandrocarpa)*. Die Angabe über die Zahl der inneren Längsgefäße am Kiemensack stimmt zu *Chorizocarpa elegans*, und andrerseits die Zahl der Magenwülste zu *Symplegma viride*. Was aber auch die Ursache dieser anscheinend auf vermischtem Material beruhenden Verwirrung sei, ich glaube als sicher annehmen zu dürfen, daß das Material von der Thursday-Insel zu *Symplegma viride (Diandrocarpa)* gehört, während nachweislich *Chorizocarpa elegans* eine weit verbreitete Kap-Ascidie ist. Hartmeyer ist zwar der Ansicht (l. c. 1912, p. 268), daß auch *Symplegma viride* (von ihm an jener Stelle noch *Diandrocarpa monocarpa* genannt) am Kaplande vorkommen möge. Ich halte dies aber nicht für wahrscheinlich. *Symplegma viride* ist von sehr vielen Fundorten bekannt; aber diese Fundorte liegen sämtlich in den Regionen der Korallenriffe: Golf von Mexico, Bermuda-Inseln, Rotes Meer, Deutsch-Ostafrika, Madagaskar, Ceylon, Malayischer Archipel, Philippinen. An diese Fundorte würde sich einer von der Thursday-Insel gut anreihen, während die im Bereich der kalten Benguella-Strömung liegende Westküste Kaplands (Sea Point) einen durchaus abweichenden faunistischen Charakter aufweist. Ich glaube jetzt nicht mehr, daß wir mit dem Vorkommen des *Symplegma viride* am Kap rechnen dürfen.

Schon bei der Erörterung über die Gattung, oben p. 99, habe ich meine Gründe für die Zusammenfassung von *Symplegma viride* Herdm. und *Diandrocarpa botryllopsis* Van Name dargelegt und die Beziehungen einiger Sluiter'schen Arten aus dem Malayischen Archipel zu dieser Gattung besprochen. Im folgenden habe ich nun die Synonymie- und Rassenverhältnisse des *Symplegma viride* auseinander zu setzen. Ich stelle zu dieser weit gefaßten, in mancher Hinsicht etwas variablen Art, wie die obige Synonymieliste zeigt, den größten Teil der bisher zu *Diandrocarpa* gestellten Formen;

---

[1] Hartmeyer, Ascid. Deutsch. Tiefsee-Exp., p. 266.

[2] Sluiter, Berichtig. Synstyela-Art, p. 110.

nur einige der oben erwähnten Sluiter'schen Formen vom Malayischen Archipel glaube ich als besondere Arten ausschließen zu sollen. Ich will diese morphologisch-systematischen Verhältnisse im Folgenden an der Hand der verschiedenen in Betracht zu ziehenden Organe besprechen.

Die Gestaltung der Kolonie, ob krustenförmig oder massig, hat, wie schon oben unter der Gattung *Symplegma* erörtert, für diese Art keine Bedeutung, kommen doch die verschiedenen Formen an einer und derselben Kolonie vor. Die Regel scheint eine krustenförmige Ausbildung der Kolonie zu sein. Doppelplatten mit spärlichem stengeligen Stützmaterial und massige Teile ohne Fremdkörperstütze scheinen nur ausnahmsweise auf stengeligem Untergrunde gebildet zu werden.

Die Mundtentakel zeigen nach Zahl und Ausbildung eine beträchtliche Verschiedenheit; doch fällt es schwer, scharfe Grenzen zwischen den verschiedenen Ausbildungsformen zu ziehen. Bei einigen Formen, so bei dem Material von Veracruz und von der Thursday-Insel (f. *bråkenhielmi*) sind die Tentakel sehr lang, sämtlich fadenförmig und mehr oder weniger eng zu einem schopfartigen Wirrsal zusammengewickelt. Bei anderen Formen, so bei der Ceylon-Form und der Samboanga-Form (f. *philippinensis*), sind sie kürzer und lassen zugleich ein meist sehr regelmäßiges Alternieren nach der Länge (nach dem Schema 1, 2, 1, 2, 1 oder 1, 3, 2, 3, 1) erkennen. Die Tentakel der kleinsten Ordnung können so sehr an Länge abnehmen, daß sie schließlich, wie bei den ostafrikanischen Formen (f. *stuhlmanni*), nur noch warzenförmig sind. Hieran würde sich dann die artlich zu sondernde malayische *S. quadricorniculatum* (Sluit.) anschließen, bei der die Tentakel niederer Ordnungen gar nicht mehr zur Ausbildung kommen, sodaß lediglich 4 große Tentakel 1. Ordnung vorhanden sind. Ebenso variiert die Zahl der Tentakel. Das häufigste ist wohl die 12-Zahl, die einerseits (f. *stuhlmanni*, f. *typica*) über 10 (individuelles Vorkommen an der Kolonie von Daressalaam) auf 8 herabsinkt (Stück von Suës) — hieran würde sich *S. quadricorniculatum* anschließen —, andrerseits über 14 (Stücke von Veracruz und Samboango) auf 16 (Originale von *G. similis*) und weiter (? Stück von der Thursday-Insel) steigt (f. *bråkenhielmi*, f. *philippinensis*). Bei meiner Angabe: »ungefähr 24« für das Stück von der Thursday-Insel (l. c. 1904, p. 47: *D. monocarpa* angeblich von Sea Point bei Kapstadt, tatsächlich von der Thursday-Insel) muß das »ungefähr« als sehr weit aufgefaßt werden; es mögen auch nur 16 oder wenige mehr gewesen sein.

Auch die Zahl der Magenwülste (ich zähle hier der Einfachheit halber den schmäleren Nahtwulst mit) ist selbst innerhalb des zusammengehörenden Materials von einem Fundort variabel, wie ich schon früher z. B. für die Form von der Thursday-Insel nachgewiesen habe, und wie es Herdman bei der Ceylon-Form fand. Die geringste Zahl der Magenwülste findet sich für die Bermuda-Form angegeben, nach Van Name »about ten«. Wir dürfen vielleicht annehmen, daß es mit dem schmäleren und häufig undeutlichen Nahtwulst mindestens 11 gewesen seien. Eine von mir vorgenommene durchaus genaue Zählung an Querschnittserien durch herauspräparierte Magen ergab folgende Zahlen für die Magenwülste (einschließlich des Nahtwulstes): Person von Samboango (f. *philippinensis*): 11; Personen von Suës (f. *stuhlmanni*): 12, 13, (f. *bråkenhielmi*): 15; Person von Daressalaam (f. *stuhlmanni*): 14; Personen von Veracruz (f. *bråkenhielmi*): 14, 15; Personen von der Thursday-Insel (f. *bråkenhielmi*): 14, 15, 16. In diese Reihe sind noch einzufügen die Angaben über die Ceylon-Form und über die malayischen Originale von *G. similis* (f. *philippinensis*): »about 12« bezw. 12.

Schließlich zeigt auch der Geschlechtsapparat, zumal der männliche Teil desselben, eine beachtenswerte Variabilität. Nur in einem Falle, bei der Bermuda-Form (f. *typica*) sind die beiden Samenbläschen einfach birnförmig, bei allen übrigen Formen sind sie mehr oder weniger eingeschnitten und gelappt. Eine Verschiedenheit der Ausbildung tritt bei diesen Formen noch in der Zahl der Lappen der Hodenbläschen und in der verschiedenen Schlankheit bezw. Plumpheit der Ausführwege auf; aber diese Verschiedenheiten finden sich, wenigstens bis zu einem gewissen Grade, bei den Personen einer und derselben Kolonie, und es ist noch die Frage, ob es sich hier nicht etwa lediglich um eine stärkere Füllung mit Samenmassen handle. Eine solche stärkere Füllung wird, wie es für

f. *stuhlmanni* charakteristisch sein soll, die ganzen Hodenbläschen plumper erscheinen lassen. Zugleich werden die ursprünglich schlanken, engen und langen, proximal unter trichterförmiger Erweiterung ohne scharfen Absatz in die eigentlichen Hodenbläschen übergehenden Sonderausführgänge zunächst proximal, dann aber auch allmählich weiter distal gefüllt und damit mehr und mehr verkürzt. Die gefüllten und damit gedehnten Teile der Sonderausführgänge scheinen dann ein Teil des eigentlichen Hodenbläschens zu sein. Meist findet man bei den ausgewachsenen Personen einer Kolonie oder selbst bei den Personen von gleichzeitig und an der gleichen Örtlichkeit gesammelten Kolonien in der Ausbildung der Geschlechtsapparate eine Gleichartigkeit, die die Art dieser Ausbildung als etwas recht charakteristisches erscheinen läßt, während sie vielleicht doch nur einen bestimmten, für all diese gleichzeitig abgetöteten Personen gemeinsamen Ausbildungszustand darstellt. Manchmal aber findet man auch etwas verschiedene Ausbildungsweisen in einer und derselben Kolonie. Ich neige jetzt der Ansicht zu, daß diesem Aussehen des männlichen Geschlechtsapparates eine besondere systematische Bedeutung nicht zusteht. Ich halte es sogar nicht für ganz ausgeschlossen, daß auch die einfache Birnenform der Hodenbläschen bei der Bermuda-Form (f. *typica*) nur einen Zustand der Unreife darstelle, falls man es hier nicht mit einer Kümmerform zu tun hat.

In der folgenden Zusammenstellung der *Symplegma*-Arten und -Formen darf die Sonderung des *S. viride* in verschiedene Formen nur als ein Versuch aufgefaßt werden, dem ein weitgehend subjektives Ermessen zugrunde liegt. Es ließen sich vielleicht auch andere Auffassungen rechtfertigen. Immerhin scheint auch die geographische Verbreitung bis zu einem gewissen Grade mit dieser Sonderung in Harmonie zu stehen.

Tabelle der Symplegma-Arten und -Formen.

Symplegma quadricorniculatum (Sluit.).

1904 *Gynandrocarpa quadricorniculis* Sluiter; 1909 *Diandrocarpa quadricorniculis*, Hartmeyer.

Mundtentakel 4. Ösophageale Blindsäcke fehlen. Magenwülste 12. Jederseits 3 oder 4 Geschlechtssäckchen mit je 2 Hodenblasen.

Malayischer Archipel, Kei-Inseln.

Symplegma viride Herdm.

Synonymie der Art siehe oben, S. 101.

Mindestens 8 Mundtentakel. Ösophageale Blindsäcke fehlen. 10 (11?) — 16 Magenwülste. Jederseits ein einziger Geschlechtsapparat mit je 2 Hodenblasen.

F. *typica*.

1886 *Symplegma viride* Herdman; 1902 *Diandrocarpa botryllopsis* Van Name.

Mundtendakel mäßig lang, 8; Magenwülste ungefähr 10 (11?); Hodenblasen einfach birnförmig. Bermuda-Inseln.

F. *stuhlmanni* (Mich.)

1904 *Diandrocarpa bråkenhielmi* var. *stuhlmanni* Michaelsen.

Mundtentakel ziemlich kurz, die niederster Ordnung manchmal fast warzenförmig, 8—12; Magenwülste 12—14; Hodenblasen gelappt, mit mehr oder weniger kurzen, dicken Sonderausführgängen.

Mauritius; Deutsch-Ostafrika, Daressalaam; Rotes Meer, Massaua, Tor, Suës.

F. *philippinensis* (Mich.)

1886 *Synstyela incrustans* (part.), Herdman; 1904 *Diandrocarpa monocarpa* var. *philippinensis* Michaelsen; 1904 *Gynandrocarpa similis* Sluiter; 1906 *Diandrocarpa bråkenhielmi* var. *ceylonica* Herdman; 1914 *D. semoni* var. *philippinensis*, Michaelsen.

Mundtentakel mäßig lang, 12 - 16; Magenwülste 11 oder 12 (bezw. ungefähr 12); Hodenblasen gelappt, mit mäßig schlanken Sonderausführgängen.

Philippinen, Samboango; Makassar-Strasse; Ceylon-See.

F. *bråkenhielmi* (Mich.)

1895 *Synstyela incrustans* (part.), Sluiter; 1904 *Diandrocarpa monocarpa* f. *typica*, Michaelsen; 1904 *D. bråkenhielmi* f. *typica* Michaelsen; 1914 *D. semoni* f. *typica* Michaelsen.

Mundtentakel schlank, 12—14 und mehr (— 24?). Magenwülste 14—16. Hodenblasen gelappt, mit mehr oder weniger schlanken Sonderausführgängen.

Rotes Meer; Torres-Straße, Thursday-Insel; Golf von Mexiko, Veracruz.

Symplegma nigricans (Sluit.)

1904 *Gynandrocarpa nigricans* Sluiter; 1909 *Diandrocarpa nigricans*, Hartmr.

Mundtentakel 16. Ösophageale Blindsäcke fehlen. Jederseits 3 oder 4 (nach Abbildung auch 2) Geschlechtssäckchen mit je einigen (nach Abbildung je 2) Hodenblasen.

Malayischer Archipel, Insel Sarassa in der Flores-See.

Symplegma purpureum (Sluit.)

1904 *Gynandrocarpa purpurea* Sluiter; 1909 *Diandrocarpa purpurea*, Hartmr.

Mundtentakel mäßig schlank, 12. Beim Übergange des Ösophagus in den Magen 4 Blindsäcke. Magenwülste 14. Wenige Geschlechtssäckchen mit je 1 Hodenblase.

Malayischer Archipel, Pulu Sebangkatan in der Makassar-Straße, Insel Kabaena und Molukken-Insel Tiur.

Von den Kolonien des *Symplegma viride* Herdm. aus dem Roten Meer sind die meisten wegen der geringen Zahl und der Kürze der Mundtentakel (bei einigen näher untersuchten Personen nur 8, von denen 4 zum Teil sehr klein, warzenförmig sind) und wegen der ziemlich geringen Zahl der Magenwülste (bei zwei Personen einer Kolonie von Suës 12 bezw. 13) der f. *stuhlmanni*, die auch im Gebiet des tropischen Ostafrikas und bei Madagaskar vorkommt, zuzuordnen. Der männliche Geschlechtsapparat ist bei diesen Formen des Roten Meeres ziemlich plump gebaut, wenngleich nicht immer ganz so plump wie bei dem Original der f. *stuhlmanni* von Daressalaam. Zwei große Kolonien von Suës weichen von den übrigen so weit ab, daß sie einer anderen Form, der f. *bråkenhielmi*, zugeordnet werden müssen. Sie haben etwa 14 (wenn nicht einige mehr) sehr schlanke Mundtentakel, deren kleinste schon beträchtlich lang und deutlich fadenförmig sind, und einschließlich des Nahtwulstes 15 Magenwülste. Die männlichen Geschlechtsorgane waren in einer dieser Kolonien ausgebildet; die Sonderausführgänge der 2—4 lappigen Hodenblasen sind etwas schlanker als bei den Originalen der f. *stuhlmanni*, jedoch nicht ganz so schlank wie bei den Originalen der f. *bråkenhielmi;* sie gleichen denen der ebenfalls von Suës stammenden Stücke, die ich der kurzen Tentakeln wegen zur f. *stuhlmanni* stellte. Diese Verhältnisse sind recht bezeichnend für die Unsicherheit der bisherigen Formensonderung.

Fam. Botryllidae.

Was die Gestaltung des Magens anbetrifft, so sind die allgemeinen Erörterungen unter Fam. *Styelidae*, oben, p. 65, die sich mit auf die Familie *Botryllidae* beziehen, zu beachten.

Gen. Botryllus Gaertn. (s. l.).

Botryllus niger (Herdm.).

1886 *Botrylloides nigrum* Herdman, Rep. Tunic. Challenger II, p. 50, Taf. 1 Fig. 8, Taf. III Fig. 19—21.

? 1886 *Botrylloides perspicuum* Herdman, ebendas., p. 45, Taf. I Fig. 4, 5, Taf. III Fig. 9—14.

? 1886 *Botrylloides perspicuum rubicundum* Herdman, ebendas., p. 48, Taf. I Fig. 6, 7, Taf. III Fig. 15—18.

? 1895 *Botrylloides perspicuum*, Sluiter, Tunic. still. Ocean, in: Zool. Jahrbuch, Syst., XIII, p. 21.

1897 *Botrylloides nigrum*, Sluiter, Tunic. Süd-Afrika, in: Zool. Jahrb., Syst., XI, p. 49.

1902 *Botrylloides nigrum*, Van Name, Ascid. Bermuda-Isl., in: Trans. Conn. Acad., XI, p. 374, Taf. LIII Fig. 54, Taf. LXI Fig. 125.

1902 *Botrylloides nigrum planum* Van Name, ebendas., p. 377, Taf. LIII Fig. 55, Taf. LIX. Fig. 110.

1902 *Botrylloides nigrum concolor* Van Name, ebendas., p. 378, Taf. LIII Fig. 53.

1902 *Botrylloides nigrum sarcinum* Van Name, ebendas., p. 378.

1899 *Botrylloides leptum* Herdman, Descr. Cat. Tunic. Austral. Mus., p. 102, Taf. Bot. I Fig. 1—4.

? 1904 *Botryllus separatus* Sluiter, Tunic. Siboga-Exp. I, in: Siboga-Exp., LVIa, p. 100, Taf. XV Fig. 22.

1904 *Botrylloides perspicuum*, Sluiter, ebendas., p. 101.

1909 ? *Botryllus separatus* + *Botrylloides leptum* + *B. l. var.* + *B. nigrum* + *B. n. concolor* + *B. n. planum* + *B. n. sarcinum* + ? *B. perspicuum* + ? *B. p. rubicundum*, Hartmeyer, Tunic., in: Bronn, Kl. Ordn. Tierr., p. 1378—1380.

1912 *Botrylloides nigrum*, Hartmeyer, Ascid. Deutsch. Tiefsee-Exp., in: Wiss. Erg. Deutsch. Tiefsee-Exp., XVI, p. 270, Taf. XLI Fig. 10.

non 1912 *Botrylloides nigrum magnicoecum* Hartmeyer, ebendas., p. 271, Taf. XLI Fig. 11.

non 1915 *Botryllus niger magnicoecus*, Michaelsen, Tunic., in: Meeresfauna Westafrikas, I, p. 419.

1918 *Botryllus niger*, Michaelsen, Ptychobr. Diktyobr. Ascid. westl. Indisch. Oz., p. 45.

Fundangaben: Suës, im Flachwasser am Strande an Muschelschalen und Spongien, an flachen, blattförmigen oder stengeligen Algen, an stengeligen Hydrozoen und Bryozoen, sowie flach auf kiesigem oder feinerem kalkigem Foraminiferen- und Korallensand; E. Bannwarth, 1913 und 1914.

Tor, Innenzone des Riffes, an *Millepora sp.;* R. Hartmeyer, 1901.

Rás el Millan, Sandzone, an schmalblättrigen Algen und schotenförmigen phanerogamen Pflanzen; R. Hartmeyer, 21.—27. Dezember 1901.

Umm el Kyaman (Umm el Jerman), an Muscheln; R. Hartmeyer, 18—20. Jänner 1902.

Gimsah-Bucht, Vorzone und Küstenzone, an Muscheln, Korallen, Milleporiden und Algen; R. Hartmeyer, 11.—17. Jänner 1902.

Weitere Verbreitung: Deutsch-Ostafrika, Daressalaam (nach Michaelsen); Moçambique (nach Sluiter); Kapland (nach Hartmeyer); ? Malayischer Archipel, Sarassa-Insel, Borneo-Bank und Ostküste Borneos, Makassar, Kaniungan katjil, Insel Waigeu und bei Insel Saleyer (nach Sluiter); ? bei den Sulu-Inseln (nach Herdman); New South Wales, Port Jackson (nach Herdman); ? Neuseeland, French Pass. (nach Sluiter); Bermuda-Inseln (nach Herdman).

Erörterung: Diese anscheinend in den Tropen und Subtropen weltweit verbreitete, fast circummundane Art liegt mir in sehr zahlreichen Kolonien hauptsächlich aus dem Golf von Suës und der Djobal-Straße, in zwei Kolonien auch von Daressalaam in Deutsch-Ostafrika zur Untersuchung vor. Bevor ich auf die Synonymie der Art eingehe, will ich die morphologischen Verhältnisse auf Grund der genauen Untersuchung des Materials besprechen.

Kolonie-Gestalt und Bodenständigkeit: Die Kolonien sind anscheinend ausnahmslos von flächenförmigem Wuchs und überziehen als mehr oder weniger dicke Flächen bezw. Krusten alle möglichen ihnen zur Verfügung stehenden Fremdkörper, wie aus der Liste der Fundangaben zu ersehen ist. Die Krustenform ist naturgemäß nur bei flächenhaftem Untergrunde klar erkennbar, bei stengeligem und zumal verzweigtem Anwachsmaterial wird die Krustenform undeutlich. Bei verzweigtem Material werden die Lücken des Untergrundes von der Koloniefläche meist beiderseitig überspannt, so daß hier von einer Krustenform nicht eigentlich geredet werden kann. Die mit ihrer Unterseite fest aneinander gelegten und miteinander verwachsenen Flächen bilden im Bereich dieser Lücken des Anwachsmaterials gewissermaßen Doppellamellen. Derartige Doppellamellen können auch, zumal bei stengeligem Untergrunde, über das Anwachsmaterial frei hinauswachsen und somit freie fleischige Lappen bilden, die anscheinend in beträchtlicher, wenn auch nicht sehr weiter Erstreckung jeglicher Stütze entbehren. Derartige rein fleischige Teile bleiben aber anscheinend immer verhältnismäßig dünn, flächenhaft, und gehen als Doppellamellen nicht über die doppelte Dicke einfach flächenhafter, krustenförmiger Kolonien hinaus, so daß eben nur zwei Personenschichten gut Platz in ihnen finden. Eine personenlose Zwischenschicht von reiner Zellulosemantelsubstanz ist nicht deutlich ausgebildet. Kolonien von echter *Polycyclus*-Gestalt habe ich unter dem reichen Material dieser Art nicht angetroffen; doch tritt eine personenlose Zellulosemantelschicht bei Kolonien von anderem Wuchs, nämlich bei gewissen krustenförmigen Kolonien, auf. Es handelt sich hierbei offenbar um die Anpassung an einen bestimmten

Untergrund. Diese Kolonien sind flache, bis 8 *mm* dicke, unregelmäßig umrandete gelappte Fladen, der größte etwa 90 *mm* breit und 120 *mm* lang. Die Oberseite dieser Fladen stellt sich als reine Kolonieoberfläche dar, die Unterseite ist dicht mit grobem, im allgemeinen gleichmäßigem, selten mit Kalksteinen (Korallenbrocken) untermischtem Foraminiferen- und Korallensand besetzt. Diese meist einfache Sandschicht haftet der Unterseite mäßig fest an, doch sind nur geringere Teile in die unterste Zellulosemantelschicht der Kolonie eingebettet. Offenbar hatte die krustenförmige Kolonie einen ebenen Boden von Foraminiferen- und Korallensand als Untergrund, von dem sie sich unter Mitnahme der anhaftenden oberflächlichen Schicht leicht ablösen ließ. Ein Durchschnitt durch solche Kolonie zeigt nun, daß nur die äußere Schicht, etwa die Hälfte der ganzen Dicke ausmachend, von *Botryllus*-Personen besetzt ist. Die unteren Teile stellen eine personenlose, nur von Blutgefäßen mit kolbenförmigen Blind-Enden durchzogene, sehr weich-knorpelige, fast gallertartige Zellulosemantelschicht dar, gewissermaßen eine Schutzschicht, die die Personen von dem körneligen Untergrunde trennt. Zweifellos liegt hier eine ähnliche Bildung vor, wie sie Van Name zur Sonderung seiner var. *sarcinum* (l. c. 1902, p. 378) geführt hat. Diese fladenförmigen Kolonien sind, natürlich abgesehen von den Scheinmassenformen bezw. Doppellamellen, die dicksten vorliegenden Kolonien; andere sind dünner bis viel dünner, die anscheinend sehr junge, wenn auch in der Fläche schon ziemlich ausgedehnte Kolonie von Tor im Maximum kaum 1 *mm* dick. Auch in der übrigens belanglosen Flächendimension stellt eine der Fladenkolonien das Maximum dar.

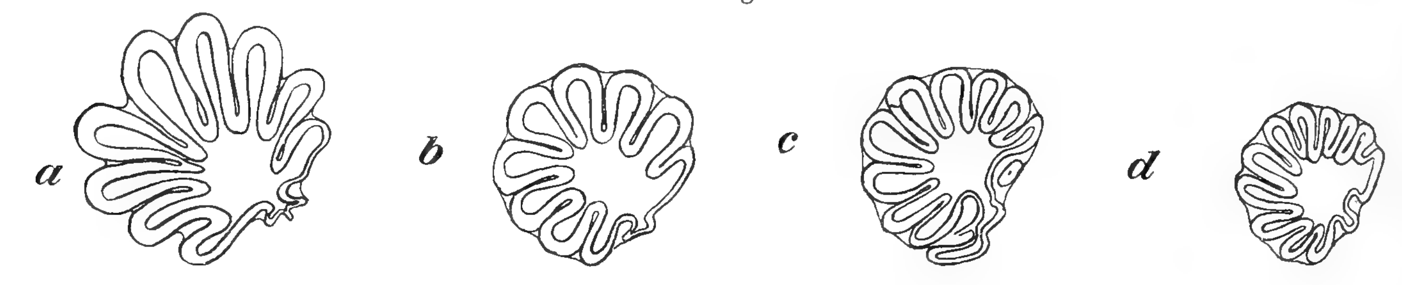
Die Färbung der lebenden Kolonien ist nach den vorliegenden Angaben der Sammler sehr variabel, wie schon Van Name nach seinem Material von den Bermuda-Inseln (l. c. 1902, p. 375—378) feststellte. Meinem Material sind folgende Angaben über die Färbung der lebenden Tiere beigegeben: »Dunkelbraun« (Rás el Millan), »braun« (Rás el Millan), »gelbbraun gescheckt« (Gimsah-Bucht), »lehmgelb» (Rás el Millan), »silbergrau« (Rás el Millan, Gimsah-Bucht, Umm el Kyaman), »ziegelrot« (Gimsah-Bucht) und »dreifarbig« (Suës). Die Färbung der konservierten Tiere erscheint viel einförmiger. Die im Leben braunen und dunkelbraunen Stöcke, ebenso die lehmgelben, sind jetzt dunkel braunviolett, bis fast schwarz, die dreifarbigen und gelbbraun gescheckten jetzt mäßig dunkel violett, der ziegelrote Stock ist jetzt rotbraun, die ursprünglich silbergrauen sind jetzt hell violettgrau. Die violette Farbe herrscht bei weitem vor, offenbar mehr als bei den lebenden Tieren.

Die Anordnung der Personen in Systemen ist bei den verschiedenen Kolonien sehr verschieden, doch möchte ich diese Verschiedenheit nicht als Variabilität bezeichnen. Es handelt sich hier zweifellos um Wachstumserscheinungen, um verschiedene Ausbildungsstadien der Kolonie, wie ich es schon früher für *B. magnicoecus* (Hartmr.) (= *Botryllus niger* var. *magnicoecus*, Michaelsen, l. c. 1915, p. 421) nachgewiesen habe. Bei einzelnen mir vorliegenden Kolonien des *B. niger* vom Roten Meer und von Deutsch-Ostafrika bilden die Systeme mehr oder weniger große geschlossene Ovale (*Botryllus*-Form), die manchmal dadurch noch besonders deutlich und gesondert erscheinen, daß sie polsterförmig hervorragen und durch furchenartige Einsenkungen voneinander getrennt sind. (Diese Sonderform der Kolonie mag auf besonderer Konservierung beruhen.) Zum Teil sind diese Ovalsysteme mehr oder weniger in die Länge gestreckt oder zu mehreren an den Schmalpolen ineinander übergehend, fast rosenkranzförmig. In anderen Kolonien bilden die Systeme mehr oder weniger lange, gebogene oder auch gegabelte und verästelte Doppelzeilen (*Botrylloides*-Form), zwischen denen aber vereinzelt auch Ovalsysteme auftreten. Ganz rein ist an einer Kolonie die *Botryllus*- und die *Botrylloides*-Form nur selten ausgebildet. Bei weitläufiger Stellung der Personen, wie sie bei manchen Kolonien in ganzer Ausdehnung oder nur in der Randpartie vorkommt, und zwar sowohl bei *Botryllus*- wie bei *Botrylloides*-Wuchs, sind die Systeme sehr deutlich, durch fjordförmige und inselförmige personenlose, meist durchsichtige Zellulosemantelstrecken abgehoben. Bei vielen Kolonien ist die Anordnung der Personen jedoch eine sehr gedrängte, und dabei sind die Systeme weniger deutlich ausgeprägt, häufig nur durch stellenweise Anordnung der Personen in Längslinien angedeutet. Eine systematische Wertigkeit ist diesen verschiedenen Wachstumsformen nicht beizumessen.

Der Mundtentakelkranz läßt meist 16 nach dem Schema 1, 3, 2, 3, 1 angeordnete Tentakel erkennen; doch fehlen manchmal einige dieser Tentakel, und die der 3. Ordnung sind manchmal so klein, daß sie kaum als Tentakel bezeichnet werden können, manchmal ganz undeutlich.

Der Kiemensack trägt normalerweise jederseits 3 innere Längsgefäße (bei meinem Material an Querschnitten durch mehrere Hunderte von Kiemensäcken keine Ausnahme beobachtet). Die 3 Längsgefäße einer Seite sind stets verhältnismäßig nahe aneinander gerückt, so daß die Räume zu seiten des Endostyls und der Dorsalfalte annähernd doppelt so breit erscheinen wie die Zwischenräume zwischen zwei benachbarten inneren Längsgefäßen; die Räume neben der Dorsalfalte sind manchmal sogar mehr als doppelt so breit wie die Längsgefäß-Zwischenräume. Die Zahl der Kiemenspalten ist in den verschiedenen Räumen dementsprechend verschieden. Ich fand an mehreren genauer untersuchten Personen folgendes Schema der Kiemenspaltenzahlen: D. 5—6, 2—4, 2—4, 4—6, E.

Textfig. 19.



Querschnitte durch den Magen von *Botryllus niger* (Herdm.) von Gimsah-Bucht; schematisch; 80/1. *a* durch das Cardia-Ende, *b* durch die Mitte, *c* durch den Ursprung des Blindsackes, *d* durch das Pylorus-Ende.

Ungemein charakteristisch ist für diese Art die Gestalt des Magens (Textfig. 19*a*—*d*). Ich habe von 12 verschiedenen Kolonien, mindestens einer von jedem Fundort und von jeder Wuchsart, beträchtliche Stücke in Schnittserien zerlegt und die Gestalt des Magens an den Querschnitten durch fast 100 genau untersuchte Stücke als durchaus konstant befunden.[1] Der Magen hat im allgemeinen die Gestalt einer geschweift kegelförmigen Kapselfrucht, deren Kapseln äußerlich als Längswülste stark ausgeprägt sind und deren Mündung im Zentrum des umfangreicheren Anfangsteiles als Cardiawulst etwas eingesenkt ist. Während das Ende des Ösophagus als Cardiaringwulst etwas in den Magen eingedrückt ist, springen die Magenlängswülste, die cardiawärts mehr oder weniger stark (meist beträchtlich) nach außen geschweift sind, als verhältnismäßig lange Blindsäcke deutlich über die Cardia vor, so daß ein Querschnitt durch die Cardia von den Querschnitten dieser Cardiablindsäcke frei umstellt erscheint. Gegen den Pylorus nimmt der Magen anfangs langsam, später schneller an Dicke ab, um sich schließlich am Pylorus kegelförmig zu verjüngen. Der Magen besitzt nach meiner Untersuchung an fast 100 Personen konstant 9 wohl ausgebildete, bis an die Cardia reichende, äußerlich durch tiefe Furchen gesonderte Längswülste. Den tiefen, engen Furchen zwischen den Längswülsten entsprechen ebensoviele weit in das Lumen des Magens einspringende Längsfalten. Dazu kommen (stets?) noch 2 sehr kurze rudimentäre Wülste bezw. Falten am Pylorus-Ende des Magens, ganz hinter dem Ursprung des Pylorusblindsackes, jederseits von der Magennaht einer. Die Magennaht wird durch eine am Cardia-Ende schmale, in der Mitte stark verbreiterte, am Pylorus-Ende durch die Besetzung mit den verkürzten Wülsten wieder verschmälerte Membran gebildet. Diese Nahtmembran der Magenwand, die rechtsseitig in den Nahtwulst übergeht, ist entweder fast flach ausgespannt oder durch Einfaltung verschmälert und zum Teil eingesenkt, manchmal im Querschnitt S-förmig. Bei flacher Spannung der Nahtmembran ist der Magen erweitert, und die eigentlichen Magenwülste stehen zum größten Teil an der der Magennaht gegenüberliegenden Seite; bei Einfaltung der

[1] Es erscheint mir unumgänglich, die genauere Gestaltung des Magens mit seinen eigentlichen Wülsten und dem Nahtwulst an gut gerichteten Querschnittserien zu untersuchen. Äußerliche Betrachtung gibt bei Verkennung der Nahtwulstfläche leicht zu Mißverständnissen Veranlassung. Am genauesten pflegen Querschnitte durch den herauspräparierten Magen auszufallen.

Nahtmembran ist der Magen verengt, und die eigentlichen Magenwülste erscheinen im engen Anschluß an den Nahtwulst gleichmäßig über den Umfang des Magens verteilt. In ersterem Falle sind an einer Magenseite mehr als die Hälfte der eigentlichen Magenwülste sichtbar, und dies mag leicht eine irrtümliche, zu hohe Schätzung der Wulstzahl veranlaßt haben. Auch ist die Nahtmembran im vorderen Teil häufig (stets?) mit einer oder zwei weiteren Längswülsten neben dem eigentlichen Nahtwulst versehen, so daß sie im ganzen 3 schmälere Längswülste zu tragen scheint. Auch dies mag wohl Veranlassung zu mißverständlicher Auffassung der Wulst- und Faltenverhältnisse gegeben haben. Diese Verhältnisse lassen es erklärlich erscheinen, daß die Angaben über die Zahl der Magenwülste nicht ganz übereinstimmen. Wenn Hartmeyer (l. c. 1912, p. 271) angibt, daß der Magen 10, gelegentlich auch nur 9 Wülste besitze, so ist das wohl nur so zu verstehen, daß er den Nahtwulst, der gelegentlich undeutlich sein kann, mitzählt, und rudimentäre Wülste, die sehr undeutlich sein und auch wohl fehlen können, unberücksichtigt läßt. Van Name's Angabe (l. c. 1902, p. 377): »about 8 or 10 longitudinal folds« und Herdman's Angabe (l. c. 1886, p. 52): »five or six lobes upon each side«, die durch das »about« bezw. »or« genügend Spielraum erhalten, lassen sich wohl mit meinen Befunden vereinen. Übrigens halte ich es nicht für ausgeschlossen, daß in der Zahl der Magenwülste doch eine geringe Variabilität herrsche, war ich doch selbst überrascht über die anscheinend ungestörte Konstanz dieser Zahl bei meinem Material. Ein mäßig großer, am Blind-Ende manchmal etwas keulenförmig angeschwollener, meist etwas gegen das Cardia-Ende des Magens hin gebogener Pylorusblindsack entspringt hinter der Mitte des Magens, näher dem Pylorus-Ende als dem Cardia-Ende aus dem Nahtwulst. Was die histologische Beschaffenheit des Magens anbetrifft, so ist zu erwähnen, daß die in das Magenlumen einragenden Kantenteile der Magenfalten, die Faltenkanten, scharf von den Flankenteilen abgesetzt sind; ihr Epithel ist dünner und färbt sich (z. B. in Pikrokarmin) dunkler als das der Flankenteile der Falten. Die Drüsenlängsstreifen an der First der Magenwülste bezw. am Grunde der Wulsthöhlungen sind ebenfalls scharf ausgeprägt, bei Pikrokarminbehandlung viel dunkler gefärbt, grob granuliert und etwas verdickt. Manchmal treten sie als undeutliche stumpfe Längskanten etwas vor.

Der Geschlechtsapparat entspricht dem bei *Botryllus* gewöhnlichen; *B. niger* ist ausgesprochen protogyn. Nur in wenigen Kolonien habe ich keine Spur von Geschlechtsorganen finden können. Eigentliche Ovarien finden sich nur bei sehr jungen, bis etwa $^1/_4$ *mm* dicken Personen, und zwar jederseits eines am Innenkörper neben der hinteren Hälfte des Kiemensackes. Diese Ovarien haben die Gestalt einer dick plankonvexen oder verschiedenflächig bikonvexen Linse. Ihre Innenfläche ist flach oder sehr schwach konvex und ragt kaum in den Peribranchialraum vor. Ihre Außenfläche ist stark gewölbt und verursacht eine starke Ausbuchtung des Weichkörpers in den allgemeinen Zellulosemantel hinein. Hoden finden sich dagegen nur in ausgewachsenen oder nahezu ausgewachsenen Personen, an denen keine eigentlichen Ovarien mehr zu erkennen sind. Die Hoden liegen jederseits am Innenkörper, etwas mehr ventral als die Orte der Ovarien, und bestehen aus je etwa 9 birnförmigen Hodenbläschen, die mäßig eng und in einfacher Schicht zu einer ovalen Gruppe vereint sind, in deren Zentrum die engen Pole zusammentreten, ohne daß es hier zu einer geräumigen Zentralmasse käme. Der Zentralraum der Hode ist eng und scheint durch einen kurzen stummelförmigen Samenleiter in den Peribranchialraum auszumünden.[1] Hoden finden sich in den ausgewachsenen Personen verhältnismäßig weniger Kolonien, teils in Kolonien, deren junge Personen Ovarien tragen, teils in Kolonien, in denen auch junge Personen ganz geschlechtslos erscheinen. Vielfach aber finden sich in den mit Hoden versehenen ausgewachsenen Personen dicht oberhalb der Hoden einige wenige (meist nur jederseits 1) große, etwa 50 μ dicke, kugelige, dotterreiche Eizellen, nicht zwar immer genau an den Orten der Ovarien, aber doch anscheinend mit diesen Orten in Verbindung stehend. Die verschiedenen Kolonien stellen also verschiedene geschlechtliche Ausbildungsstufen dar, die offenbar folgende Reihe bilden:

[1]) Vergl. Michaelsen, l. c. 1918, Taf. Fig. 6.

a) Junge und ausgewachsene Personen ohne Geschlechtsorgane.
b) Junge Personen mit Ovarien, ausgewachsene Personen ohne Geschlechtsorgane.
c) Junge Personen mit Ovarien, ausgewachsene Personen mit reifen Eizellen (bezw. Larven) und Hoden.
d) Junge Personen ohne Geschlechtsorgane, ausgewachsene Personen mit reifen Eizellen (bezw. Larven) und Hoden.
e) Junge Personen ohne Geschlechtsorgane, ausgewachsene Personen mit Hoden.

Diese Reihe spricht für einen ausgesprochenen protogynen Zustand zwittriger Personen, bei dem nur die hoch ausgebildeten weiblichen Geschlechtsprodukte noch zeitlich mit dem sie überdauernden Auftreten männlicher Geschlechtsprodukte zusammentreffen, während die Personen im jugendlichen Zustand rein weiblich, im ältesten Zustand rein männlich erscheinen. Soweit ich die Angaben über Geschlechtsverhältnisse bei Botrylliden übersehe, ist dies das allgemeine Verhalten in dieser Familie, mit dem auch anscheinend abweichende Angaben in Harmonie zu bringen sind, so die Angabe Herdman's über seinen *B. lamarcki*[1]. Herdman sagt von dieser Art: »The reproductive organs are, contrary to the rule in most of the Botryllidae in the collection, hermaphrodite. They consist in the fully developed Ascidiozooid of one or two large yellow ova and an irregular group of spermatic vesicles.« Diese Schilderung deutet klar auf das Stadium *d)* der oben angeführten Reihe der geschlechtlichen Ausbildung der Kolonie hin, läßt also nicht auf einen Ausnahmezustand schließen.

Nun zur Synonymie unserer Art! Nach meinen wenn auch nicht umfangreichen — ich habe bis jetzt nur die 3 Arten *B. niger* (Herdm.), *B. magnicoecus* (Hartmr.) und *B. leachi* Sav. sowie eine vierte, neue Art von Ostafrika eingehend untersuchen können — so doch in kleinem Umfange gründlichen Erfahrungen haben die in älteren Beschreibungen meist in erster Linie, wenn nicht lediglich, verwerteten Verhältnisse der Färbung, der Anordnung der Personen in Systemen und der Kolonieform für die Systematik nur einen geringen Wert. In all diesen Verhältnissen herrscht zum mindesten eine große Variabilität, in vielen Hinsichten selbst nicht einmal eine eigentliche Variabilität, sondern nur eine Verschiedenheit des Alters- und Lebenszustandes. Als systematisch bedeutsam muß ich in erster Linie die innere Organisation der Personen, zumal die Bildung des Kiemensackes, des Darmes (vor allem des Magens) und der Hoden, vielleicht auch die der Mundtentakel ansehen, wenn auch nicht geleugnet werden soll, daß vielfach auch die Gestaltung der Kolonie, ob massig oder dünn, für die Art-Charakteristik von Bedeutung sein mag. Ich denke hierbei unter anderem an das Auftreten von Formen mit ausgesprochen fleischigem allgemeinen Zellulosemantel, wie sie früher zu den Gattungen *Polycyclus* und *Sarcobotrylloides* zusammengefaßt wurden. Bei *B. niger* und *B. magnicoecus,* von denen mir ein sehr reiches Material vorliegt, scheinen derartige *Polycyclus*-Formen nicht gebildet zu werden. Sie müssen demnach für die Arten, bei denen sie auftreten, als artlich von einer gewissen Bedeutung angesehen werden. Hierbei darf allerdings nicht vergessen werden, daß die Kolonien dieser *Polycyclus*-Formen einmal ein Stadium durchlaufen haben mögen, in dem diese charakteristische Form noch nicht ausgebildet war, also ein *Botryllus*-Stadium. Prüfen wir die vorliegenden Botrylliden-Beschreibungen, so finden sich leider nur sehr wenige, die ein genügendes Bild von den systematisch bedeutsamen Charakteren ihrer Art ergeben. Die bei weitem überwiegende Zahl sind species inquirendae oder species spuriae. Ich bin davon überzeugt, daß die Zahl der Arten nach genauerem Studium sehr zusammenschrumpfen wird, daß sich die meisten der bis jetzt aufgestellten fraglichen Arten als Synonyme einiger weniger guter Arten herausstellen werden. Viele ganz ungenügend charakterisierte Arten sind am richtigsten ganz unberücksichtigt zu lassen.

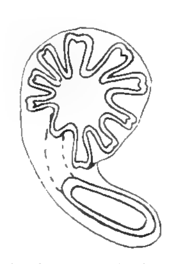
Was nun die Synonymie von *B. niger* (Herdm.) anbetrifft, so glaube ich, daß zunächst *Botrylloides perspicuum* Herdm. samt var. *rubicundum* (l. c. 1886) zu *B. niger* zu stellen sei. Herdman erwähnt nichts von einem Pylorusblindsack am Magen, und auch aus der Abbildung (l. c. Taf. III

[1] 1886 *Polycyclus lamarcki* Herdman, Rep. Tunic. Challenger II, p. 65.

Fig. 14) ist nicht zu ersehen, ob ein Pylorusblindsack vorhanden sei. Im übrigen scheint der Magen in seinem Bau mit dem von *B. niger* übereinzustimmen. Vielleicht ist auch *B. separatus* Sluit. (l. c. 1904), dessen Original eine junge Kolonie (mit allerdings schon geschlechtsreifen Personen) ist, als Synonym zu *B. niger* heranzuziehen. Sluiter sagt zwar, daß ein Blindsack nicht vorhanden zu sein scheine, doch stellt diese Angabe das Vorkommen des Blindsackes nicht positiv in Abrede. Man könnte daran denken, auch *Botryllus ater* und *Botrylloides nigrum* [n. sp.] Herdman (1906)[1] von Ceylon zu *Botryllus niger* zu stellen, doch genügen die Beschreibungen dieser Arten nicht zu einer Beurteilung derselben. Es sind gewissermaßen species nudae, und es ist mir unverständlich, wie Hartmeyer (l. c. 1909, p. 1378, 1380) sie zu den einigermaßen sicheren Arten stellen konnte (die letzte unter der Bezeichnung *Botrylloides atrum* Hartmr.).

Als besondere, von *Botryllus niger* artlich zu trennende Form sehe ich *Botrylloides nigrum* var. *magnicoecum* Hartmr. (l. c. 1912) von Kapland und Deutsch-Südwestafrika an. *B. magnicoecus* weicht besonders in der Gestaltung des Magens (Textfig. 20) so sehr von *B. niger* ab, daß meiner Ansicht nach die Vereinigung dieser beiden Formen innerhalb einer Art ausgeschlossen ist. Bei *B. magnicoecus* ist der Magen orangenförmig, kaum so lang wie dick, an der Cardia gerundet verengt, ohne daß die Magenwülste hier stärker hervortreten; auch gehen höchstens 8 eigentliche Magenwülste bis an die Cardia, und die Maximalzahl der Wülste in der Höhe des Blindsack-Ursprunges beträgt ausschließlich des Nahtwulstes nur 9 (bei *B. niger* 11). Dazu kommt dann noch die verhältnismäßig enorme Größe des Pylorusblindsackes, der bei *B. magnicoecus* auch näher dem Pylorus-Ende des Magens entspringt als bei *B. niger*. Die dunkler färbbaren und mehr oder weniger deutlich von den Flanken abgesetzten Kantenpartien der Magenfalten sind nur schmal. Die Drüsenlängsstreifen an der First der Magenwülste bezw. im Grunde der Faltenzwischenräume treten manchmal (nicht immer!) kantenförmig in das Lumen zwischen den Falten vor, fast das Aussehen von Zwischenfalten annehmend. Nach neuerer Untersuchung an einer Kolonie von Lüderitzbucht kann ich feststellen, daß die Geschlechtsorgane, wenigstens die weiblichen, die für *Botryllus* normalen Verhältnisse aufweisen. Es bildet sich, und zwar nur bei kleinen, sehr jungen Personen, jederseits am Innenkörper ein Ovarium aus, nicht nur linksseitig, wie ich früher vermutungsweise angab (l. c. 1915, p. 422). Die dort erwähnte rechtsseitige Geschlechtsanlage, die ich vermutungsweise als männlich ansprach, ist tatsächlich ebenfalls weiblich.

Textfig. 20.



Querschnitt durch den Magen von *Botryllus magnicoecus* (Hartmr); schematisch; 67/1; Schnitt etwas vor dem Ursprung des Blindsackes.

Botryllus rosaceus Sav.

1816 *Botryllus rosaceus* Savigny, Mém. Anim. s. vertèbr. II[1], p. 198, Taf. XX Fig. 3.

Verbreitung: Golf von Suës (nach Savigny).

Ich habe unter meinem reichen *Botryllus*-Material aus dem Roten Meer keine Kolonie gefunden, die dieser bisher nicht wieder beobachteten Savigny'schen Art zuzuordnen wäre. Es drängte sich mir die Frage auf, ab *B. rosaceus* etwa eine sehr jugendliche Form des im Roten Meer so häufigen und so weit verbreiteten *B. niger* (Herdm.) (siehe oben!) darstelle; doch mußte ich diese Frage durchaus verneinen. *B. rosaceus* weicht in der Gestalt des Magens wesentlich von *B. niger* ab. Bei *B. rosaceus* erstrecken sich nur 7 oder 8 Magenwülste (7 eigentliche Wülste und 1 mehr oder weniger deutlicher Nahtwulst?) bis an die Cardia (bei *B. niger* ohne den am Cardia-Ende undeutlichen Nahtwulst 9), und das Cardia-Ende dieser Wülste ist nicht so weit aufgetrieben wie bei *B. niger*, so daß das Maximum der Magendicke nicht am Cardia-Ende liegt, wie bei *B. niger* und bei Savigny's *B. leachi* (l. c. 1816,

[1] Herdman, Tunic., in: Rep. Pearl Oyster Fish., V, p. 333, Taf. VII Fig. 19, 20; p. 333, Taf. VII Fig. 25.

Taf. XX Fig. 4), sondern hinter der Mitte der Magenlänge. Schließlich fehlt bei *B. rosaceus* auch ein Pylorusblindsack, wie Savigny, der dieses Organ an anderen Botrylliden wohl beachtet hat, ausdrücklich angibt, zwar nicht bei der Beschreibung dieser Art selbst, aber, zurückweisend, bei der Beschreibung des mit Pylorusblindsack ausgestatteten *B. schlosseri* (l. c. 1816, p. 201: »Estomac .... pourvu près du pylore d'un petit coecum qui manque aux espèces précédentes ...«). Das Fehlen des Pylorusblindsackes darf nicht als Jugendform aufgefaßt werden; denn nachweislich tritt er manchmal bei solchen Formen, bei denen er im ausgewachsenen Zustand fehlt oder undeutlich ist, im Jugendstadium auf.

Diktyobranchia.

Fam. **Rhodosomidae.**

Gen. Rhodosoma Ehrbg.

Rhodosoma verecundum Ehrbg.

?1816 *Phallusia turcica* Savigny, Mém. Anim. s. vertèbr. II[1], p. 102, 165, Taf. X Fig. 1.
1828 *Rhodosoma verecundum* Ehrenberg, Symbol. physic., Zool. I, Praefatio, p. 3.
1901 — —, Hartmeyer, Kenntn. Rhodosoma, p. 154, Taf. IV Fig. 3—5, 8, 12.

Fundangabe: Suës, am Strande; E. Bannwarth, 1913 (2 Stücke).

Ältere Angabe: Rotes Meer (nach Ehrenberg).

Bemerkungen sind nach der ausführlichen Schilderung Hartmeyers nicht zu machen.

Fam. **Ascidiidae.**

Gen. Ascidia L.

Ascidia cannelata (Sav.-Ok.)

1816 *Phallusia sulcata* Savigny, Mém. Anim. s. vertèbr., II[1], p. 102, 114, 162, Taf. IX Fig. 2.
1820 — *cannelata* Savigny-Oken, in Isis, 1820 II, Literar. Anz., p. 796.
1837 *Ascidia phusca* part., Dujardin, in Lamarck, Hist. An. s. Vert. ed. 3, I, p. 583.
non 1890 *Phallusia sulcata*, Carus, Prodr. F. Medit., II, p. 474.
1891 *Phallusia sulcata*, Herdman, Rev. Class. Tunic., p. 595.
1909 — *corallophila* Hartmeyer, Tunic., in: Bronn, Kl. Ordn. Tierr., p. 1404.
1915 *Ascidia cannelata*, Hartmeyer, Ascid. Golf von Suez, p. 400, Textfig. 1.

Alte Fundangaben: Rotes Meer, ohne nähere Angaben (nach Savigny), Suës, Rás el Millan Umm el Kyaman (U. el Jerman), Gimsah-Bucht (nach Hartmeyer).

Ich habe keine eigenen Untersuchungen über diese von Hartmeyer eingehend geschilderte Art angestellt.

Ascidia savignyi Hartmr.

1915 *Ascidia savignyi* Hartmeyer, Ascid. Golf von Suez, p. 404, Textfig. 2—4.

Alte Fundangaben; Tor, Rás el Millan, Gimsah-Bucht (nach Hartmeyer).

Ich habe kein Stück dieser Art zur Verfügung gehabt.

Gen. Phallusia Sav.

Die Berechtigung zur Abtrennung der Gattung *Phallusia* von *Ascidia* erscheint mir zweifelhaft; doch genügt das mir vorliegende Material nicht zu einer eingehenden Untersuchung dieser Verhältnisse.

Phallusia nigra Sav.

?1775 *Salpa solitaria* Forskål, Descr. anim., p. 116.
?1776 — —, Forskål, Icon. rer. nat. itin. orient., p. 14, Taf. XLI Fig. *E*.
1816 *Phallusia nigra* Savigny, Mém. Anim. s. vertèbr., II[1], p. 102, 163, Taf. II Fig. 2, Taf. IX Fig. 1.
1823 *Ascidia atra* Lesueur, Descr. sever. Ascid., p. 2, Taf. I Fig. 2.
?[1840] — *phallusia* Comte, Règne anim., Taf. XXVIII.
1852, 1856 *Phallusia violacea* Gould, Mollusca and Shells, in: U. S. Expl. Exp. 1838 till 1842, p. 495, Atl. Taf. LII, Fig. 610.
1882 *Phallusia atra,* Traustedt, Vestind. Ascid. simpl. II, p. 278, Taf. IV Fig. 6, Taf. V Fig. 17.
1882 *Ascidia nigra,* Herdman, Rep. Tunic. Challenger I, p. 210.
1884 — *atra*, Drasche, Üb. außereurop. einf. Ascid., p. 383, Taf. VIII Fig. 5—7.
1898 — —, Sluiter, Tunic. Chazalie Antilles, p. 7.
1900 — —, Metcalf, Notes morphol. Tunic., p. 502, Textfig *A—D*.
1902 — —, Van Name, Ascid. Bermuda Isl., p. 398, Taf. LXIII Fig. 138, 139.
1905 — *obocki* nom. nud., Sluiter, Tunic. Gravier Tadjourah, in: Bull. Mus. Paris, p. 101.
1905 — *somaliensis* nom. nud., Sluiter, ebendas., p. 101.
1905 — *nigra*, Sluiter, Tunic. Gravier Tadjourah, in: Mém. Soc. zool. Fr., p. 6.
1905 — *obocki* Sluiter, ebendas., p. 7, Taf. I Fig. 1—1*c*.
1905 — *somaliensis* Sluiter, ebendas., p. 8, Taf. I Fig. 2—2*b*.
1913 *Tunica nigra,* Hilton, The centr. nerv. syst., p. 113, Fig. 1—11.
1915 *Phallusia nigra*, Hartmeyer, Ascid. Golf von Suez, p. 408, Textfig. 5—9.

Fundangaben: Suës, Strand; E. Bannwarth, 1913.
Insel Scheduan; Pola-Exp., 18. Februar 1896.
Rás Abu Somer; Pola-Exp., 15. Februar 1896.
Sherm Habban; Pola-Exp., 12. Jänner 1896.
Port Berenice; Pola-Exp., 24. Nov. 1895.
Jiddah; Pola-Exp., 10. Dezember 1895.
Raweyyah; Pola-Exp., 29. Sept. 1897.
Massaua; Pola-Exp., 30. Dezember 1897.
Insel Kamaran; Pola-Exp., 30. Oktober 1897.
Ghuleifaka; Pola-Exp., 20. Dezember 1897.

Ältere Fundangaben: Rotes Meer, ohne nähere Angabe (nach Savigny), Suës, Tor, Umm el Kyaman (U. el Jerman), Rás el Millan, Gimsah-Bucht, Suës oder Jiddah (Djidda) (nach Hartmeyer).

Weitere Verbreitung; Golf von Aden (Djibouti, Obock) (nach Sluiter), Bermuda-Inseln (nach Van Name), Westindien (nach Lesueur), Brasilien (Rio de Janeiro) (nach Gould), ? Kapgebiet (35°4' S., 18°37' O., in 150 Faden Tiefe) (nach Herdman).

Ich kann den Ausführungen Hartmeyer's (l. c. 1915) über diese Art nichts hinzufügen.

Phallusia arabica Sav.

1816 *Phallusia arabica* Savigny, Mém. Anim. s. vertèbr., II[1], p. 164.
1915 — —, Hartmeyer, Ascid. Golf von Suez, p. 414, Textfig. 10—12.

Fundangaben: Die Brüder; Pola-Exp., 27. Oktober 1895.
Port Berenice; Pola-Exp., 24. Nov. 1895.
Jiddah; Pola-Exp., 10. und 12. Dez. 1895.
Raweyyah; Pola-Exp., 30. September 1897.

?Bab el Mandeb, Nordausgang der Kleinen Straße, 30 Meter; Pola-Exp., 13. Oktober 1894 (das Bruchstück eines Zellulosemantels).

Ältere Fundangaben: Rotes Meer, ohne nähere Angabe (nach Savigny), Tor, Umm el Kyaman (U. el Jerman), Rás el Millan, Gimsah-Bucht (nach Hartmeyer).

Ich habe der ausführlichen Erörterung Hartmeyer's nichts hinzuzufügen.

Fam. Cionidae.

Gen. Ciona Flem.

Ciona intestinalis (L.)

Vollständige Synonymie siehe unter:

1903 *Ciona intestinalis*, Hartmeyer, Ascid. Arktis, p. 297.

dazu:

1883 *Ascidia (Ciona) intestinalis*, Keller, Fauna Suez-Kanal, p. 21, Karte Taf. II, Nr. 9 (grün).

Fundangabe: Suës, am Strande; E. Bannwarth (2 Stücke).

Ältere Angabe: Port Tewfik bei Suës, im kleinen Hafen der Schiffsarmerie (nach Keller).

Weitere Verbreitung siehe bei Hartmeyer, l. c. 1903, p. 299 u. f.: Karisches Meer, Barents-Meer, Spitzbergen, Nord-, Nordwest, West- und Süd-Europa (Mittelmeer, Schwarzes Meer), Nordafrika, Indischer Ozean (Singapore), Australien (Port Jackson), Magalhaens-Straße, Bafins-Bay, also nahezu kosmopolitisch.

Bemerkungen: *Ciona intestinalis* (L.) ist die einzige Art der holosomen Ascidien (*Ptychobranchia* und *Diktyobranchia*), die nachweislich zugleich im Roten Meer und im Mittelmeer vorkommt. Sie wurde schon von Keller (l. c. 1883, p. 21) in der Nähe von Suës, nämlich im kleinen Hafen der Schiffsarmerie bei Port Tewfik, nachgewiesen. Keller spricht die Vermutung aus, daß diese Ascidie hier durch Baggerschiffe, die in diesem Hafen stationiert sind, eingeschleppt sein möge, und auf der Karte (Taf. II) mit dem »Migrationsschema für den Suezkanal« zeichnet er sie in Nr. 9 als eine aus dem Mittelmeer in das Rote Meer eingewanderte Art ein. Es ist sehr wahrscheinlich, daß es sich bei der weltweiten Verbreitung dieser Art um eine Verschleppung durch Schiffe handelt. Dafür spricht besonders auch das anscheinend sprunghafte Auftreten von *Ciona intestinalis* in außereuropäischen Gebieten, und zumal auch die offensichtliche Bevorzugung der lebhafteren Handelszentren (Suës, Singapore, Sidney, Fremantle,[1] Magalhaens-Straße). Es spricht auch kaum etwas gegen die Annahme, daß *C. intestinalis* nach Suës durch Einschleppung aus dem Mittelmeer gelangt sei; doch muß immerhin mit der Möglichkeit gerechnet werden, daß es sich hier um eine Einschleppung von der anderen Seite, aus dem Indischen Ozean (Singapore, Fremantle) handle. Im übrigen erscheint mir die Herkunft dieser fast kosmopolitischen Verschleppungsform ganz belanglos.

---

[1] Nach brieflicher Mitteilung Hartmeyer's.

Literaturverzeichnis.

Apstein, C., 1915; Nomina conservanda; in: Sb. Ges. Nat. Fr. Berlin; 1915.

Carus, J. V., 1890; Prodromus Faunae Mediterraneae, II; Stuttgart.

Comte. J, A., 1840?; Règne animal de Cuvier, disposé en tableaux méthodiques; Paris.

Cuvier, G. (Voigt, F. S.), 1834; Das Tierreich, geordnet nach seiner Organisation, III; Leipzig.

Delage, Yvès, siehe Lacaze Duthiers et Delage.

Drasche, R. v., 1884; Über einige neue und weniger gekannte außereuropäische einfache Ascidien in: Denkschr. Ak. Wien, XLVIII.

Dujardin, M. F., 1837; in: J. B. de Lamarck, Histoire naturelle des Animaux sans Vertèbres, éd. 3, I.

Ehrenberg, C. G., 1828; Symbolae Physicae. Pars Zoologica. Decas I; Berolini.

Fleming, John, 1822; The Philosophy of Zoology, II; Edinburgh.

Forskål, P., 1875; Descriptiones animalium avium, amphibiorum, piscium, insectorum, vermium quae in itinere orientali observabit; p. m. auct. ed. C. Niebuhr; Hauniae.

— 1876; Icones rerum naturalium quas in itinere orientali depingi curavit; p. m. auct. ed. C. Niebuhr; Hauniae.

Gould, A., 1852 (Atlas 1856); Mollusca and Shells; in: U. S. Exploring Expedition during the years 1838 till 1842 under C. Wilkes, XII u. Atlas; Boston.

Gunnerus, J. E., 1767; Der Seebeutel (Tethyum Sociabile) vollständig beschrieben; in: Skr. Drontheim Selsk., III.

Hartmeyer, R., 1900; Monascidien von Ternate; in: Abh. Senckenberg. Ges., XXV.

— 1901; Zur Kenntnis des Genus Rhodosoma Ehrbg.; in: Arch. Naturg. LXVII, Beiheft.

— 1903; Die Ascidien der Arktis; in: Fauna arctica; III.

— 1908; Zur Terminologie der Familien und Gattungen der Ascidien; in: Zool. Ann., III.

— 1909; Tunicata (Manteltiere); in: H. G. Bronn, Klassen und Ordnungen des Tierreichs, wissenschaftlich dargestellt in Wort und Bild, III, Suppl., Fortsetzung.

— 1912; Revision von Heller's Ascidien aus der Adria II, Die Arten der Gattungen Microcosmus. Cynthia, Styela, Polycarpa, Gymnocystis und Molgula; in: Denkschr. Akad. Wien, LXXXVIII.

— 1914; Diagnosen einiger neuer Molguliden aus der Sammlung des Berliner Museums nebst Bemerkungen über die Systematik und Nomenklatur dieser Familie; in: Sb. Ges. Nat. Fr. Berlin, 1914.

— 1915; Über einige Ascidien aus dem Golf von Suez; in: Sb. Ges. Nat. Fr. Berlin, 1915.

— 1916; Neue und alte Styeliden aus der Sammlung des Berliner Museums; in: Mt. Zool. Mus. Berlin, VIII.

Heller, C., 1877; Untersuchungen über die Tunicaten des Adriatischen und Mittelmeeres, III (I); in: Denkschr. Ak. Wien, XXXV.

— 1878; Beiträge zur näheren Kenntnis der Tunicaten; in: Sb. Ak. Wien, LXXVII.

Herdman, W. A., 1881; Preliminary Report on the Tunicata of the »Challenger« Expedition, III; Cynthiadae; in: P. R. Soc. Edinburgh, XI.

— 1882; Report on the Tunicata collected during the Voyage of H. M. S. Challenger during the years 1873—1876, I, Ascidiae simplices; in: Rep. Voy. Challenger, VI.

— 1886; Report on the Tunicata collected during the Voyage of H. M. S. Challenger during the years 1873—1876, II, Ascidiae compositae; in: Rep. Voy. Challenger, XIV.

— 1891; A revised classification of the Tunicata; in: J. Linn. Soc., XXIII.

— 1899; Descriptive Catalogue of the Tunicata in the Australian Museum, Sydney, N. S. W.; in: Austral. Mus. Sydney. Cat., XVII, Liverpool.

— 1906; On the Tunicata; in: Rep. Pearl Oyster Fish. Gulf of Manaar, V.

— 1913; Tunicata; in: Sci. Res. Trawl. Exp. »Tethys« N. S. Wales; in: Mem. Austral. Mus. Sydney, IV.

Hilton, W. A., 1913; The central nervous system of Tunica nigra; in: Zool. Jahrb., Anat., XXXVII.

Huntsman, A. G., 1912; Holosomatous Ascidians from the coast of western Canada; in: Contr. Canad. Biolog. 1906—1910.

— 1912; Ascidians trom the Coasts of Canada; in: Trans. Canad. Inst., IX.

— 1913; The Classification of the Styelidae; in: Zool. Anz., XLI.

Keller, C., 1883; Die Fauna im Suezkanal und die Diffusion der mediterranen und erythräischen Tierwelt, eine tiergeographische Untersuchung; in: Denkschr. Ges. Schweiz, XXVIII.

Lacaze-Duthiers, H. de, et Delage, Yves, 1892; Faune de Cynthiadées de Roscoff et des côtes de Bretagne; Mém. prés. Ac. France, XXXXV.

Lesueur, C. A., 1823; Descriptions of several new species of Ascidia; in: J. Ac. Philad., III.

Metcalf, M., 1900, Notes on the morphology of the Tunicata; in: Zool. Jahrb., Anat., XIII.

Michaelsen, W., 1898; Vorläufige Mitteilung über einige Tunicaten aus dem magalhaensischen Gebiet sowie von Südgeorgien; in: Zool. Anz., XXI.

— 1900; Die holosomen Ascidien des magalhaensisch-südgeorgischen Gebietes; in: Zoologica, XXXI.

— 1904; Die stolidobranchiaten Ascidien der deutschen Tiefsee-Expedition; in: Erg. d. Tiefsee-Exp., VII.

— 1904; Revision der compositen Styeliden oder Polyzoinen; in: Mt. Mus. Hamburg, XXI.

— 1905; Revision von Heller's Ascidien-Typen aus dem Museum Godeffroy; in: Zool. Jahrb., Suppl. VIII.

— 1908; Die Molguliden des Naturhistorischen Museums zu Hamburg; in: Mt. Mus. Hamburg, XXV.

— 1908; Die Pyuriden [Halocynthiiden] des Naturhistorischen Museums zu Hamburg; in: Mt. Mus. Hamburg, XXV.

— 1911; Die Tethyiden [Styeliden] des Naturhistorischen Museums zu Hamburg; in: Mt. Mus. Hamburg, XXVIII.

— 1914; Über einige westafrikanische Ascidien; in: Zool. Anz., XLIII.

— 1915; Tunicata; in: Meeresfauna Westafrikas, I.

— 1918; Die Ptychobranchen und Diktyobranchen Ascidien des westlichen Indischen Ozeans; in: Mt. Mus. Hamburg, XXXV.

Oka, A., 1906; Notizen über japanische Ascidien I; in: Annot. Zool. Japon., VI.

Oken, L. v., siehe unter Savigny, J.—C.

Pallas, P. S., 1887, Marina varia nova et rariosa; in: N. Acta Ac. Petrop., II.

Philippi, A., 1843; Rhopalaea ein neues Genus der einfachen Ascidien; in: Arch. Anat. Phys. Med. 1843.

Rathke J., 1806; Zoologia danica, IV; Havniae.

Ritter, W. E., 1900; Some Ascidians from Puget Sound, collections of 1896; in: Ann. N. York Ac., XII.

— 1913; The simple Ascidians from the northeastern Pacific in the collection of the United States National Museum; in Proc. U. S. Nation. Mus., XLV.

Roule, L., 1885; Recherches sur les Ascidies Simples des côtes de Provence (Famille des Cynthiadées); in: Ann. sci. nat., ser. 6, XX.

Savigny, J.—C., ? 1810; Tableau systématique des Ascidies, tant simples que composées; Paris.

— 1816; Mémoires sur les animaux sans vertèbres, II[1]; Paris. — Ins Deutsche übersetzt von L. v. Oken, in: Isis, 1820, II, Literarischer Anzeiger.

Sluiter, C. Ph., 1885; Über einige einfache Ascidien von der Insel Billiton; in: Natuurk. Tijdschr. Nederl. Ind., XXXXV.

— 1887; Einfache Ascidien aus der Bai von Batavia; in Natuurk. Tijdschr. Nederl. Ind., XXXXVI.

— 1895; Tunicaten; in Semon, Zool. Forschungsr., V; in: Denkschr. Ges. Jena, VIII.

— 1897; Tunicaten von Süd-Afrika; Beiträge zur Kenntnis der Fauna von Süd-Afrika, II; in: zool. Jahrb., Syst., XI.

— 1898; Tuniciers recueillis en 1886 par la Chazalie dans la mer des Antilles; in Mém. Soc. zool. France, XI.

— 1900; Berichtigung über eine *Synstyela*-Art (*S. michaelseni* n. sp.); in: Zool. Anz., XXIII.

— 1900; Tunicaten aus dem Stillen Ozean; Ergebnisse einer Reise nach dem Pacific (Schauinsland 1896/97); in: Zool. Jahrb., Syst., XIII.

— 1904; Die Tunicaten der Siboga-Expedition, I; Die sozialen und holosomen Ascidien; in: Siboga-Exped., LVI*a*.

— 1905; Tuniciers recueillis en 1904 par M. Ch. Gravier, dans le golfe de Tadjourah (Somalie française); in: Bull. Mus. Paris, 1905.

— 1905; Tuniciers recueillis en 1904 par M. Ch. Gravier dans le golfe de Tadjourah (Somalie française); in: Mém. Soc. zool. France, XVIII.

— 1913; Ascidien von den Aru-Inseln; in: Merton H., Erg. zool. Forschungsr. südöstl. Molukken III; in Abh. Senckenb. Ges., XXXV.

Traustedt, M. P. A., 1882: Vestindiske Ascidiae simplices, II, Molgulidae og Cynthiadae; in: Vid. Meddel., 1881.

— 1883; Die einfachen Ascidien (*Ascidiae simplices*) des Golfes von Neapel; in: Mt. Stat. Neapel, IV.

— 1885; Ascidiae simplices fra det stille Ocean; in: Vid. Meddel., 1884.

Van Name. W. G., 1902; The Ascidians of the Bermuda Islands; in: Tr. Connect. Ac., XI.

— 1912; Simple Ascidians of the coasts of New England and neighbouring British provinces; in: Proc. Boston Soc. Nat. Hist.. XXXIV.

Voigt, F. S., siehe Cuvier, G.

Wagner, N, 1885; Die Wirbellosen des Weißen Meeres, Zoologische Forschungen an der Küste des Solowetskischen Meerbusens in den Sommermonaten der Jahre 1877, 1879 und 1882, I; Leipzig.

Liste der erörterten Arten und Gattungen.

(Neue Angaben über Organisationsverhältnisse nach eigenen Untersuchungen, so auch Neubeschreibungen, sind durch Fettdruck der betreffenden Seitenzahlen hervorgehoben; Synonyme sind in Klammern gestellt.)

(affinis, Microcosmus) 63
anchylodeirus, Microcosmus 62
anguinea, Polycarpa 85—89
arabica, Phallusia 4, 113—114
arenaceus, Microcosmus 61
Ascidia, cannelata 112
(— quadridentata) 11
— savignyi 112
ater, Botryllus 110
(atrum, Botrylloides) 111
asymmetra, Cnemidocarpa 83
aurantium, Halocynthia **11—21**
australis, Microcosmus exasperatus 30, 55, **63—65**
biconvolutus, Microcosmus 55
(billitonensis, Cynthia pallida) 44
Boltenia 10
(Botrylloides) 107, 108
(— atrum) 111
(— nigrum) 111
(— [nigrum] sarcinum) 107
(— perspicuum) 110
(— — rubicundum) 110
(botryllopsis, Diandrocarpa) 99, 100, 102
Botryllus 107, 108, 110
— ater 111
— lamarcki 110
— leachi 110, 112
— magnicoecus 107, 110, **111**
— niger 4, **105—112**
(— — magnicoecus) 107
— rosaceus 111—112
— schlosseri 112
(— separatus) 110, 111
(Botryorchis) 67
(bråkenhielmi, Diandrocarpa) 99
—, Symplegma viride **103**, **105**
bythia, Styela 72
callense, Rhodosoma 4
cannelata, Ascidia 112
canopus, Styela 3, **66—67**
chilensis, Pyura 10
ceylonica, Pyura momus **33—35**, **44**, **47**, **50**, **53**
Chorizocarpa elegans 102
(— michaelseni) 102
Ciona intestinalis 3, 114
Cnemidocarpa 67, 72, 75, 84
— asymmetra 83
— hartmeyeri **72—76**
— hemprichi **67**, **76—84**
Cnemidocarpa margaritifera **67—72**, **76**
coccus, Polycarpa **89—95**, **98**
(complanata, Cynthia) 42, 44
complanata, Pyura momus 33—35, 42, 43, 45, 46, 54
conchata, Ctenicella 7
crinitistellata, Halocynthia 21
Ctenicella 7—9
— conchata 7
— dione 7—9
— hupferi 9
(Cynthia) 10, 21, 48
(— complanata) 42, 44
(— deani) 11, 12, 15, 19
(— dione) 7—9
(— mauritiana) 42
(— microcosmus) 62
(— momus) 31, 49, 51
(— pallida) 48, 50—52
(— — billitonensis) 44
(— pantex) 21
(— rosea 46, 47
(— superba) 12
(deani, Cynthia) 11, 12, 15, 19
(Diandrocarpa) 99, 100
(— botryllopsis) 99, 100, 102
(— bråkenhielmi) 99
(— monocarpa) 102, 103
(dione, Cynthia) 7—9
—, Ctenicella 7—9
(Distomus elegans) 102
(draschii, Microcosmus) 45
ehrenbergi, Polycarpa **84—85**
elegans, Chorizocarpa 102
(—, Distomus) 102
Eusynstyela 98
— hartmeyeri **96—98**
(— imthurni) 96—98
— latericia 98
— tincta 96—98
eutentaculata, Pyura gangelion **27—28**, 30
exasperatus, Microcosmus 4, 30, 31, 35, 46, 57, 64, 65
flava, Styela 72
formosae, Pyura momus **32—35**, **45**, **47**, **49**, **50**, **53**
fumigata, Phallusia 4
gangelion, Pyura 23, **25—29**, 29, 30
(Goniocarpa) 67
(grandis, Halocynthia) 32
—, Pyura momus 33, **42—43**, **45**, **47**, **49**, **50**, **53**
(guinensis, Pyura sansibarica) 29, 30
Gynandrocarpa latericius) 96
(— maxima) 98
(— nigricans) 100
(— purpurea) 100

(Gynandrocarpa quadricornicutis) 100
(— similis) 100, 103
(haemisphaerium, Microcosmus) 63, 64
Halocynthia 10, 11
— *aurantium* **11—21**
— *crinitistellata* 21
(— grandis) 32
(— pallida) 32, **50**
— *papillosa* **11—21**
— *pyriformis* **11—21**
— *roretzi* 21
— *spinosa* **10—20**, 21
— *superba* **11—21**
hartmeyeri, Cnemidocarpa **72—76**
—, *Eusynstyela* 4, **96—98**
(Hartmeyeria) 55
(— triangularis) 55
hemprichi, Cnemidocarpa **67**, **76—84**
hirsutus, Microcosmus 63, 64
hupferi, Ctenicella 9
(imthurni, Eusynstyela 96—98
(incrustans, Synstyela) 101
intestinalis, Ciona 3, 114
japonica, Pyura momus 40, 41, 47, 54
(julinii, Microcosmus) 47—49
(Katatropa) 67
kyamanensis, Pyura momus **33**, **38**, **39**, **41**, **46**, **49—53**
lamarcki, Botryllus 110
latericia, Eusynstyela 98
(latericius, Gynandrocarpa) 96, 98
latisinuosa, Pyura momus 33, 36, 37, 45, 48, 50, 53
(—, Rhabdocynthia) 32, 49
magnicoecus, Botryllus 107, 110, 111
(—, Botryllus niger) 107
margaritifera, Cnemidocarpa **67—72**, **76**
(mauritiana, Cynthia) 42
(maxima, Gynandrocarpa) 98
(michaelseni, Chorizocarpa) 102
(—, Synstyela) 102
Microcosmus 48, 49, 54, 57
(— affinis) 63
— *anchylodeirus* 62
— *arenaceus* 61
— *biconvolutus* 55
(— draschii) 45
— *exasperatus* 4, 30, **46**, 55, **57**, **64**, **65**
— — *australis* 30, 55, **63—65**
(— haemisphaerium) 63, 64
(— hirsutus) 63, 64
(— julinii) 47—49
— *miniaceus* 55, 62
— *propinquus* 54, 55, 62
— *pupa* 4, 23, **55—62**
(— scrotum) 61
— *senegalensis* **55**, **57**, **60**, **62**
— *sulcatus* **55**, **57**, **60**, **62**
— *ternatanus* 62
Microcosmus triangularis 55
(— vulgaris) 57
(microcosmus, Cynthia) 62
millanensis, Pyura gangelion **27—28**
miniaceus, Microcosmus 55, 62
miniata, Polycarpa 92, 93, 95
Molgula 8, 9
Molgulina 9
mollis, Pyura momus 34, 35, 47
(—, Rhabdocynthia) 32, 47
(momus, Cynthia) 31, 49, 51
—, *Pyura* 4, **30—54**
(Monandrocarpa tritonis) 95
(monocarpa, Diandrocarpa) 102, 103
(—, Synstyela) 101, 102
mytiligera, Polycarpa 84, 85
niger, Botryllus 4, **105—112**
nigra, Phallusia 4, 113
(nigricans, Gynandrocarpa) 100
—, *Symplegma* 105
(nigrum, Botrylloides) 111
(pallida, Cynthia) 48, 50—52
(—, Halocynthia) 31
(—, Pyura) 31
—, *Pyura momus* 33, **34—37**, 45, **47—50**, **53**
(Pandocia) 67, 75
(pantex, Cynthia) 21
—, *Pyura* 4, **21—25**, 27
papietensis, Pyura momus 33—35, 45, 47, 52

papillosa, Halocynthia **11—21**
Paratona 75
(pectenicola, Pyura) 10, 12, 14, 19, 20
(perspicuum, Botrylloides) 110
Phallusia arabica 4, 113, 114
— *fumigata* 4
— *nigra* 4, 113
philippinensis, Symplegma viride **103**, **104**
plicata, Styela 72
polana, Pyura momus **31**, **33**, **36—39**, **43**, **46**, **50**, **51**, **53**

Polyandrocarpa 96, 98
Polycarpa 67, 84
— *anguinea* 85
— — *suesana* **85—89**
— *coccus* **89—95**, 98
— *ehrenbergi* **84—85**
— *miniata* 92, 93, 95
— *mytiligera* 84, 85
— *polycarpa* 85
— *pomaria* 85
— *steindachneri* **90**, **92—95**
— *tritonis* 93, 95
polycarpa, Polycarpa 85
Polycyclus 107, 110
pomaria, Polycarpa 85
propinquus, Microcosmus 54, 55, 62

pupa, Microcosmus 4, 23, **55—62**
(purpurea, Gynandrocarpa) 100
pupureum, Symplegma viride 105
pyriformis, Halocynthia **11—21**
Pyura 10, 21, 27, 48, 55
— *chilensis* 10
— *gangelion* 23, **25—29**, 29, 30
— — *eutentaculata* **27**, **28**, 30
— — *millanensis* **27**, **28**
— *momus* 4, **30—54**
— — *ceylonica* **32—35**, **44**, **47**, **50**, **53**
— — *complanata* 33—35, 42, 43, 45, 46, 48, 54
— — *formosae* **32—35**, **45**, **47**, **49**, **50**, **53**
— — *grandis* 33, **42**, **43**, **45**, **46**, **48—50**, **54**
— — *japonica* 40, 41, 47, 54
— — *kyamanensis* **31**, **33**, **38**, **39**, 44, **46**, **49—53**
— — *latisinuosa* 33, 36, 37, 45, 48, 50, 53
— — *mollis* 34, 35, 47, 52
— — *pallida* 33, **34—37**, 45, **47—50**, **53**
— — *papietensis* 33—35, 45, 47, 52
— — *polana* **31**, **33**, **36—39**, **43—46**, **50**, **51**, **53**
— — *roseola* 33—35, 46, 47, 53
(— *pallida)* 31
— *pantex* 4, **21—25**, 27
(— *pectenicola)* 11, 12, 14, 19, 20
— *sansibarica* 5, 26, 29, **29—30**
(— — *guinensis)* 29, 30
— *savignyi* 4, 21, 24, 25
— *stolonifera* 48
quadricorniculatum, Symplegma viride 103, 104
(quadricorniculis, Gynandrocarpa 100
(quadridentata, Ascidia) 11
(Rhabdocynthia latisinuosa) 32, 49
(— *mollis)* 32, 47
(— *subfusca)* 32, 47
(— *tenuis)* 32, 47
Rhodosoma 4
— *callense* 4
— *verecundum* 4, 112
roretzi, Halocynthia 21
rosaceus, Botryllus 111, 112
(rosea, Cynthia) 46, 47
roseola, Pyura momus 33—35, 46, 47, 53
(rubicundum, Botrylloides perspicuum 110
sansibarica, Pyura 5, 26, 29, **29—30**
(sarcinum, Botrylloides nigrum) 107
(Sarcobotrylloides) 110
savignyi, Ascidia 112
—, *Pyura* 4, 21, 24, 25
schlosseri, Botryllus 112
(scrotum, Microcosmus) 61
senegalensis, Microcosmus **55—57**, **60—62**
separatus, Botryllus 110, 111
(similis, Gynandrocarpa) 100, 103
socialis, Stolonica 93
spinosa, Halocynthia **10—20**, 21
steindachneri, Polycarpa **90**, **92—95**
Stolonica socialis 93
stolonifera, Pyura 48
stuhlmanni, Symplegma viride **103—105**
Styela 67
— *bythia* 72
— *canopus* 3, **66—67**
— *flava* 72
— *plicata* 72
Symplegma 99, 100
— *nigricans* 105
— *purpureum* 105
— *quadricorniculatum* 103, 104
— *viride* 4, 99, 100, **101—105**
— — *bråkenhielmi* **103**, **105**
— — *philippinensis* **103**, **104**
— — *stuhlmanni* **103—105**
(Synstyela incrustans) 101
(— *michaelseni)* 102
(— *monocarpa)* 101, 102
(subfusca, Rhabdocynthia) 32, 47
suesana, Polycarpa anguinea **85—89**
sulcatus, Microcosmus **55—57**, **60—62**
(superba, Cynthia) 12
—, *Halocynthia* 11—19, 21
(tenuis, Rhabdocynthia) 32, 47
ternatanus, Microcosmus 62
(Tethyum) 10, 21
tincta, Eusynstyela 96—98
(triangularis, Hartmeyeria) 55
—, *Microcosmus* 55
(tritonis, Monocarpa) 95
—, *Polycarpa* 93, 95
verecundum, Rhodosoma 4, 112
viride, Symplegma 4, 99, 100, **101—105**
(vulgaris, Microcosmus) 57

Tafelerklärung.

Fig. 1. *Cnemidocarpa hemprichi* Hartmr. Ganzes Tier, von Suës; 1/1.

» 2. — — — Ganzes Tier, von Suës; 1/1.

» 3. — — — *a*: Ganzes Tier, von Umm el Kyaman (die Körperöffnungen sind durch eingesteckte Nadeln gekennzeichnet); *b*: der herausgenommene Weichkörper; 1/1.

» 4. — — — Flimmerorgan eines Tieres von Suës (Orig. der Fig. 2); 22/1.

» 5. — — — » » » » Umm el Kyaman (Orig. der Fig. 3); 22/1.

» 6. — — — Darm eines Tieres von Suës (Orig. der Fig. 2); 3/1.

» 7. — — — Flimmerorgan eines Tieres von Suës (Orig. der Fig. 1); 22/1.

» 8. — — — » » » der Sammlung Ehrenberg; 22/1.

» 9. — — — Aufgeklappter Weichkörper des Tieres von Umm el Kyaman (Orig. der Fig. 3), nach Herausnahme des Kiemensackes; 3/1.

» 10. *Microcosmus pupa* (Sav.). Aufgeklappter Weichkörper, nach Herausnahme des Kiemensackes; 2/1.

» 11. — — — Innendorn, *a* von der Seite, *b* von oben; 400/1.

» 12. — — — Mündungsdorn, *a* von der Seite, *b* von oben; 400/1.

» 13. *Polycarpa coccus* n. sp. Gruppe ganzer Tiere an einem Stein; 1/1.

» 14. — — — Geschlechtssäckchen; 20/1.

» 15. — — — Ganzes Tier, von oben; 6/1.

» 16. — *steindachneri* n. sp. 2 ganze Tiere an einem Antipathidenzweig, eines von oben, eines von der Seite; 7/1.

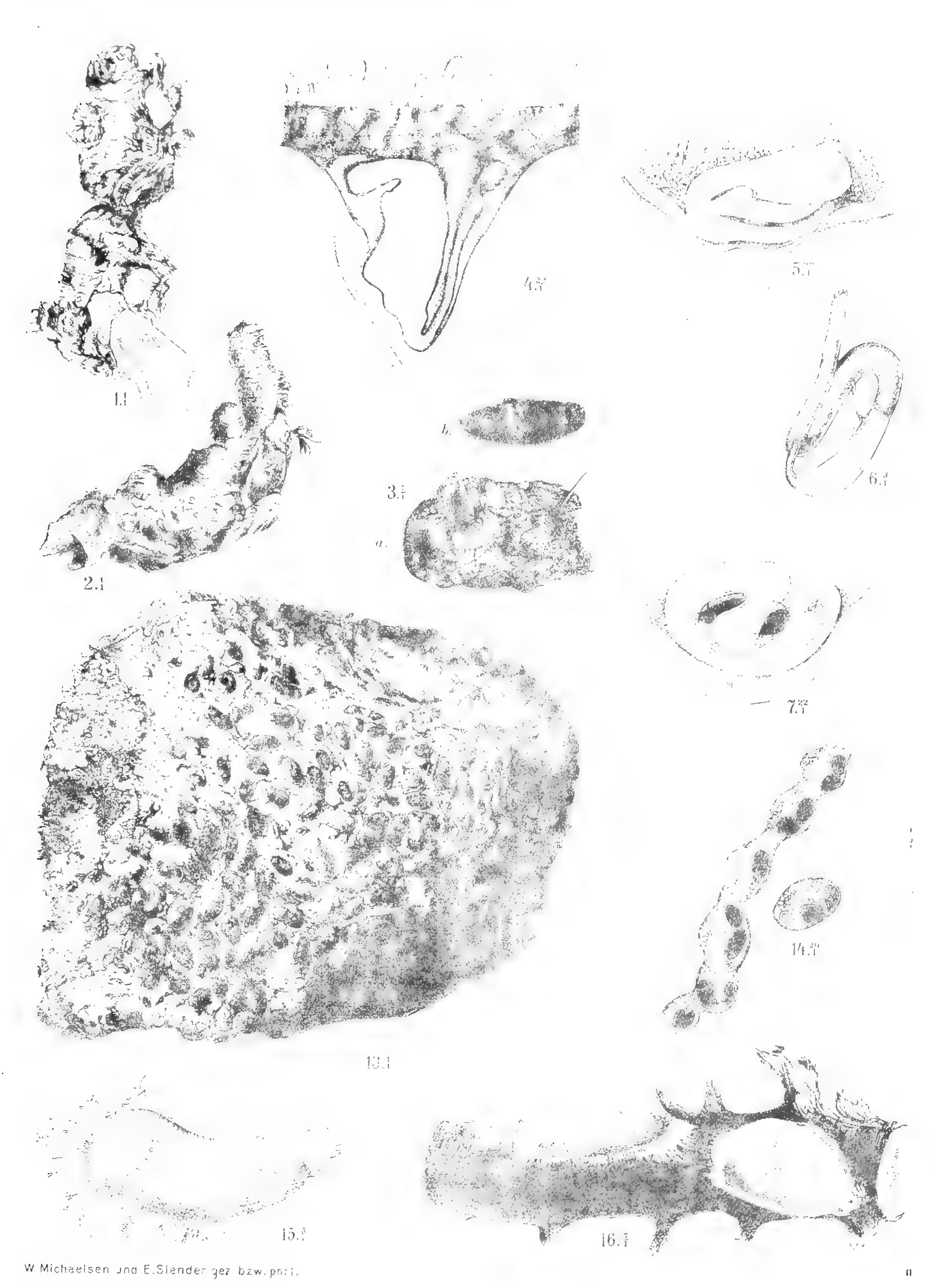
» 17. *Cnemidocarpa margaritifera* n. sp. Ganzes Tier, von der Seite; 2/1.

» 18. — — — Innendorn, von der Seite; 400/1.

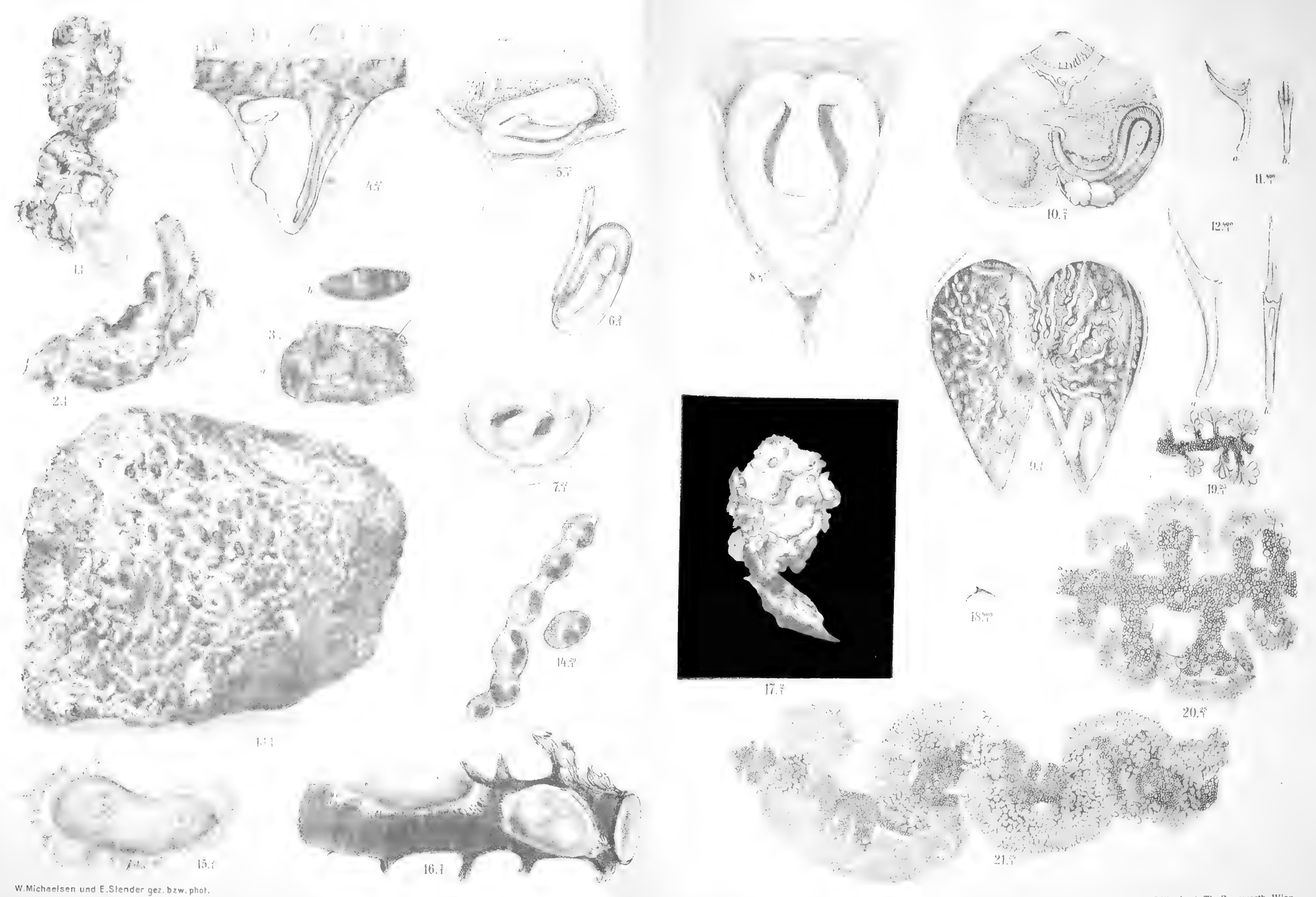
» 19. *Pyura momus* (Sav.) f. *kyamanensis* n. f. Teil eines Geschlechtsapparats eines sehr kleinen Tieres (Nr. 34 der Tabelle); 25/1.

» 20. — — — Teil eines Geschlechtsapparats eines mittelgroßen Tieres (Nr. 29 der Tabelle); 25/1.

» 21. — — f. *typica*. Teil eines Geschlechtsapparats eines ziemlich großen Tieres (Nr. 41 der Tabelle); 25/1.



W. Michaelsen und E. Slender gez. bzw. phot.



W. Michaelsen und E. Stender gez. bzw. phot.

Lith. Anst. Th. Bannwarth, Wien.

WIEN

AUS DER K. K. HOF- UND STAATSDRUCKEREI

1918


SMITHSONIAN INSTITUTION LIBRARIES
3 9088 01354 9548